제 출 문

국토해양부 장관 귀하

이 보고서를 "승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술 개발"과제의 보고서로 제출합니다.

2011. 9. 28

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원

주관연구책임자 : 정 락 교 책임연구원

연구원: 정 상 기 수석연구원

김 연 수 책임연구원

김 용 규 책임연구원

김 정 현 책임연구원

안 태 기 책임연구원

김 동 희 선임연구원

김 백 현 선임연구원

송 용 수 선임연구원

신 승 권 선임연구원

신 정 렬 선임연구원

이 준 호 선임연구원

조 홍 식 선임연구원

구 자 성 연 구 원

강 성 훈 연 구 원

이 유 진 연 구 원

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>09교통체계
-지능02</td><td>해당단계
연구기간</td><td>2009.12.29~
2011.9.28</td><td>단계구분</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="5">교통체계효율화사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="5">승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">정락교</td><td>해당단계
참여
연구원수</td><td>총 :16 명
내부 :13 명
외부 : 9 명</td><td>해당단계
연구비</td><td colspan="2">정부: 950,000 천원
기업: 천원
계 : 950,000 천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참여
연구원수</td><td>총 :16 명
내부 :13 명
외부 : 3 명</td><td>총연구비</td><td colspan="2">정부: 950,000 천원
기업: 천원
계 : 950,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속부서명</td><td colspan="2">한국철도기술연구원
신교통연구본부</td><td>참여기업명</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명 : 중앙대학교</td><td colspan="3">연구책임자 : 손기민</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>720 페이지</td></tr>
<tr><td colspan="6">기존 도심 및 신도심 등에 있어서 지역계획 수립시 단위지역의 분산된 통행수요를 흡수하는 신교통수단인 승객여정선택형 대중교통(PRT)의 운영 가능성 검증을 연구목표로 함. 이를 위해, 적용지역의 네트워크 형태 특성에 따른 PRT 운영을 위한 시나리오 도출과 운행제어기술을 시뮬레이션을 통해 기술적 가능성을 확인하였으며, PRT 개발 및 도입을 위한 법/제도 및 기준에 대한 검토를 하였고, 경제성 평가 연구에 지원을 위한 수요분담모형도출, 소요차량수 산정 등의 지원 및 2단계 사업화 추진을 위한 기획연구를 수행하였음.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색인어
(각 5개 이상)</td><td>한글</td><td colspan="5">승객여정선택, 개인교통수단, 네트워크 운행,
최적경로검색, 무정차운행</td></tr>
<tr><td>영어</td><td colspan="5">On-demand journey, PRT(Personal Rapid Transit),
Network Operation, Optimum Path Search, Non-Stop</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 연구명 : 승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 국제적 이슈가 되고 있는 환경 변화에 대응하기 위한 '지속가능한 교통수단'으로서, 환경친화적이고 에너지 소비가 적은 궤도수송수단의 역할이 재조명되고 있다. 도심 공간의 활용 극대화, 택시 수준의 편의성, 환경친화성을 가진 미래형 대중교통 시스템에 대한 필요성이 제기되고 있다. 기존의 철도교통수단은 개인교통수단으로서 입지가 확고한 자동차에 비해 대중교통은 접근성이 떨어지고 주로 대량수송수단인 점에서 야기되는 불편함으로 인해 활성화에 한계가 있으며, 다양해진 수송수요의 처리와 친환경성, 경제성 등의 요구조건을 만족하기 위해서는 미래지향적이고 첨단화된 대중교통체계로의 전환이 필요하다.

PRT 시스템은 기존 교통수단의 단점을 보완하면서 도시권역의 교통 혼잡과 사고, 환경오염에 따른 문제 완화가 가능한, 기존의 Mass-transit 개념에서 벗어나 Para-transit 개념에 가까운 새로운 개념의 대중교통수단이다.

운행제어 시스템은 개별 차량의 Local 운행과 관련한 제어계층인 차량 운행제어 계층과 전체 차량의 전 노선 운행과 관련한 제어계층인 네트워크 운행제어 계층으로 된다. 차량 관련 기술은 현재의 기술 성숙도로 보아 어려움이 있겠지만 궁극적으로 완성에 도달할 것으로 보이나, 네트워크 형태의 노선에서의 운영기술은 전세계적으로 앞으로 더욱 더 기술개발이 필요한 분야임이 중론이다. 승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술 개발 과제의 최종목표는 새로운 교통네트워크 수단인 승객여정선택형(On-demand journey) 대중교통수단의 운영 가능성을 검증하고 향후 후속연구과제의 실용화 및 상용화를 위한 시스템 구축 기획(2단계 사업)을 수립하여 제시하는 것을 목적으로 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 과제의 최종목표를 달성하기 위해 1차년도에는 국내외 기술개발 현황의 조사분석, PRT 운행제어 기본설계, 네트워크 운행제어 알고리즘 설계, 네트워크 운행제어 시뮬레이션(정상상태), 하부시스템별 기술적 검토, PRT 적용 가능성 분석을 수행하였으며, 2차년도에는 시스템 요구사항 및 인터페이스 사양(안) 도출과 운행제어 시뮬레이션 검증, 경제성 평가지원(기술적 기준, 평가대상지역의 구축비용/차량소요량수 산정 등)과 더불어 2단계 사업(시스템 구축)기술개발 전략을 수립을 통해 하드웨어의 검증체계(RFP 안)를 마련하고 개발 및 활용을 위한 법/제도 기준 제·개정(안)을 마련하였다.

Ⅳ. 연구개발결과

본 과제는 신교통수단인 PRT와 관련한 핵심 운행기술관련 제반 알고리즘의 기술적 구현 가능성 및 새로운 수단모형도출을 통한 수송 수요의 정립에 따른 도입 적용 가능성을 확인하고 2단계 사업(시스템 구축) 기술개발 전략을 수립하는 것을 목표로 하는 과제로서, 알고리즘 구현 가능성 검증 및 운영 시나리오 도출, 도입가능 지역 해석, 경제성 평가를 위한 기술적 제반 사항을 지원하는 과제 중심으로 연구개발이 이루어졌다.

연구 목표	연구개발 결과
네트워크 운행제어 알고리즘 설계 및 검증	- 네트워크 운행제어 기초자료 분석 - PRT 운행 시나리오 도출 ▪ 기본 운행 시나리오 도출 - 네트워크 운행제어 알고리즘 설계 ▪ 유사분야(ITS) 최적경로탐색 기술 현황 자료 분석 ▪ 네트워크 운행제어레벨 계층 구조 정의 및 기능요구사항 도출 - 네트워크 운행제어 시뮬레이션을 통한 알고리즘 검증 ▪ 정상 운행제어/예외상황처리 알고리즘 설계 및 구현 ▪ 시스템 인터페이스 분석 시뮬레이션 ▪ 정류장 용량 시뮬레이션 분석
시스템 요구사항 및 인터페이스 사양(안)	- 국내외 PRT 기술현황 조사 및 사업추진현황 자료 분석 ▪ 국내외 특허 등 분석 - PRT 시스템 구성요소(차량, 전력공급, 선로구축물, 운행제어 등)의 기술적 검토 ▪ 하부시스템별 요구사항 및 사양 도출(안) 검토 ▪ 하부 시스템간 인터페이스 검토

PRT 적용성 분석	- PRT 수요분석 방법론 개발 - PRT 비용산정 기준개발 - PRT 도입가능 지역 분석 - 법/제도 기준 제·개정(안) 검토
경제성 평가 지원	- 운영시나리오(송도, 상암) 도출에 따른 시스템 (안) 제시 - SP 조사(송도, 상암) - 기술자료 및 비용관련 요소 지원 - 평가대상지역(송도, 상암)의 차량소요대수 산정
2단계사업 기획	- 추진체계 및 전략 수립 - 중복성, 기존기술과의 차이점, 예산 등 도출 - 세부과제 및 연구내용 도출 - 세부 분야별 RFP(안) 도출

친환경 신교통수단으로 재조명되고 있는 PRT의 국내외 기술현황 및 시스템 도입을 위한 시범노선 구축 추진 현황 사례를 조사/분석하였으며, PRT 네트워크 운행제어 기술 개발을 위한 기본 개념설계를 수행하였다. PRT 시스템의 구현에 있어서 핵심기술인 네트워크 운행제어의 기술적 가능성을 검토하기 위하여, ITS 분야의 기존 최적경로탐색 기술을 분석하였으며, PRT 특성을 반영한 알고리즘 설계를 위한 고려사항을 제시하였다. 네트워크 운행에 따른 차량의 유기적인 운행 특성 및 시스템 인터페이스를 분석하기 위하여 기본적인 운행 시나리오에 따른 정상상태 및 이례상황에 대한 시뮬레이션을 수행 프로그램을 제작하여 알고리즘을 검증하였다. 아울러 경제성 평가를 지원하기 위해 운영 시나리오(상암, 송도)의 도출에 따라 기술적인 사항 및 차량 소요량 수 등을 산정하여 제시하였다. 또한, PRT의 국내 도입 적용성 및 도입가능 지역을 도출하기 위하여, 수요분석 방법론 및 비용 산정기준 등 교통공학체계에 따른 검토를 수행하였으며, 도출된 지역(상암, 송도)의 선호도 조사를 통해 경제성 평가과제를 지원하였다. 아울러 기술적 검토를 토대로 하여 2단계 시스템 구축사업을 통한 검증을 위한 개발 기획을 수행하였다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

본 과제를 통해 수행된 연구결과는 향후 PRT시스템의 운행제어장치 설계시 활용될 수 있을 것이며, 기술적 검토 및 도출된 기준, 사양, 설계서는 시스템 구축시 건설기준·지침 등으로 활용될 수 있을 것이다. 또한, PRT 네트워크의 운영 가능성 검증을 토대로 향후 실용화 및 상용화를 목표로 하는 후속 시스템 개발과제의 지침 및 참고용으로 활용될 것이다. 시스템 검증을 위한 2단계 사업기획(시스템 구축) 사업과 법/제도 기준에 대한 검토는 향후 개발 및 실용화의 토대가 될 것이며, 아울러, 적용지역의 특징에 따라 차별점을 정의하여 시스템 도입 환경에 부합하는 대중교통수단으로서의 현장 적용방안으로 활용할 수 있도록 하였다.

SUMMARY

There is a limit to enlarge the existing railway transportation, because the public transportation has low accessibility compared to automobiles which established a solid foothold as a personal mobility unit, and it is uncomfortable because it is usually provided as a means of mass transportation. Therefore, it is required to be changed as a future-oriented and cutting-edge mass transit systems in order to deal with demands for various transport services and satisfy requirements such as environment-friendliness, economic efficiency, etc.

The goal of the Personal Rapid Transit(PRT) Operation Technology Development project is to verify the operational feasibility of mass transits for on-demand journey that is a new means of transportation network. Additionally, it presents the operation models for the practicalization and commercialization of future following research project.

With this aim, we performed investigation and analysis of the current situations for internal and external technology development, basic design of PRT operation scenario and operation control, algorithm design for network operation control, simulation of network operation control, technology review specific to sub-systems and analysis on the feasibility for PRT. And we made the plan for PRT system implementation.

The research result of the project will be utilized in the future designing of operation control units for PRT systems. Technology reviews and derived standards, specifications, and work-flow specifications will be used as construction standards and guidelines and so on in case of constructing systems. Based on the verification of the feasibility for PRT network operation, it will be used as a guideline for following system development project aiming at future practicalization and commercialization. In addition, we defined the differences depending on the characteristics of applied areas to apply as a field application in conformity with the system-introduced environment.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction ····· 1

Section 1 Introduction of PRT R&D ····· 1

Section 2 Importance of PRT R&D ····· 3

Section 3 Research contents and scope ····· 4

Chapter 2 Current Situations of Technology Development ····· 6

Section 1 Trends of domestic technology development ····· 6

Section 2 Trends of foreign technology development ····· 12

Section 3 Analysis on the trends of patents ····· 28

Chapter 3 Contents of this study and the results ····· 109

Section 1 Basic design of PRT operation scenario & operation control ···· 109

Section 2 Algorithm design of network operation control ····· 148

Section 3 Simulation of network operation control ····· 183

Section 4 Technology review specific to sub-systems ····· 311

Section 5 Analysis on the feasibility for PRT ····· 411

Chapter 4 System Implementation Plan ····· 598

Section 1 Final Objective ····· 598

Section 2 Sub Study and Development Content ····· 604

Section 3 Development Strategy ····· 628

Section 4 Budget Estimation ····· 636

Section 5 Expectation and Prospect ····· 640

Section 6 RFP and TRM ····· 641

Chapter 5 Achievements and contributions ····· 662

Section 1 Achievement of Research Goals ····· 662

Section 2 Contribution to Related Fields ····· 663

Chapter 6 Application Plan ····· 665

Chapter 7 Information of oversea PRT ····· 667

Chapter 8 Reference ····· 696

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1

제1절 연구개발 개요 ····· 1

제2절 연구개발의 중요성 ····· 3

제3절 연구내용 및 범위 ····· 4

제2장 국내외 기술개발 현황 ····· 6

제1절 국내기술 동향 ····· 6

1. 국내 시스템 ····· 6

2. 국내 시스템 설치·검토 현황 ····· 8

제2절 국외기술 동향 ····· 12

1. 국외 시스템 ····· 12

2. 국외 시스템 설치·검토 현황 ····· 23

제3절 특허동향분석 ····· 28

1. 특허분석 개요 ····· 28

2. 검색특허 출원동향 분석 ····· 33

3. 기술별 심층 분석 ····· 48

4. 특허분석 결론 ····· 106

제3장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 109

제1절 PRT 운행제어 기본설계 ····· 109

1. PRT 운행제어시스템의 기능 ····· 109

2. 운행모드 ····· 121

3. 운행모드별 시나리오 ····· 134

4. 차량관리 알고리즘 ····· 143

5. 역진출입 알고리즘 ····· 145

제2절 네트워크 운행제어 알고리즘 설계 ····· 148

1. 최적경로 탐색 알고리즘의 기본개념 ····· 148

2. 통행비용의 결정 ····· 167

3. PRT 네트워크 운행제어 개발의 고려사항 ····· 180

제3절 네트워크 운행제어 시뮬레이션 ····· 183

1. 운행특성 분석 시뮬레이션 ····· 183
2. 시스템 인터페이스 분석 시뮬레이션 ····· 227
3. 정류장 용량산정 시뮬레이션 ····· 275
제4절 하부시스템별 시스템 요구사항 및 인터페이스 사양(안) ····· 311
1. 차량시스템 ····· 311
2. 전력공급 ····· 327
3. 선로구축물 ····· 359
4. 무선통신방식 ····· 384
5. PRT 수송용량 검토 ····· 392
6. PRT 개발 목표 사양 검토 ····· 394
7. 시스템간 인터페이스 사양(안) ····· 398
제5절 PRT 적용가능성 분석 ····· 411
1. 선행연구사례 ····· 411
2. PRT 수요분석 방법론 개발 ····· 434
3. 비용산정 기준 개발 ····· 457
4. PRT 적용 가능지역 분석 ····· 480
5. PRT 도입을 위한 사례 분석 ····· 511
6. 법/제도 제·개정(안) 검토 ····· 578
7. PRT 국내적용을 위한 기술검토 ····· 589
8. 정책적 지원의 타당성 ····· 594
9. 기존 과제와의 중복성 및 차별성 ····· 596

제4장 2단계 연구개발 기획 ····· 598
제1절 최종목표 및 내용 ····· 598
1. 최종목표 ····· 598
2. 기술개발 내용 ····· 602
제2절 세부연구 및 주요 기술개발 내용 ····· 604
1. 목표에 부합되는 세부연구 도출 ····· 604
2. 개발목표 ····· 604
3. 세부연구별 기술개발 목표 ····· 605
4. 기술수준 및 보완사항 ····· 624
5. 연구개발 성과 (목표) ····· 627
제3절 추진체계 및 전략 ····· 628
1. SWOT 분석 ····· 628
2. 추진체계 및 전략 ····· 632
3. 사업화 전략 ····· 635
제4절 소요예산 추정 ····· 636
1. 전체 사업 소요예산 ····· 636
2. 세부연구별 소요예산 ····· 636
3. 연차별 연구개발비 ····· 638
제5절 기대효과 및 전망 ····· 640
1. 기술적 기대효과 ····· 640
2. 사회·경제적 기대효과 ····· 640
제6절 세부과제별 RFP 및 TRM ····· 641
1. PRT 차량 핵심기술 개발 ····· 641
2. PRT 운행제어 핵심기술 개발 ····· 646
3. PRT 선로구축물 기술개발 ····· 652
4. PRT 전력공급 핵심기술 개발 ····· 657

제5장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 662
제1절 연구목표 달성도 ····· 662
제2절 관련분야에의 기여도 ····· 663

제6장 연구개발결과의 활용계획 ····· 665

제7장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 667
제1절 2getthere, INRETS(ARAMIS) ····· 667
제2절 미국 ····· 679
제3절 아랍에미레이트연방 ····· 686

제8장 참고문헌 ····· 696

부 록 ····· 700
부록 1 : 『An Intelligent Transportation Network System』 ····· 700
부록 2 : PRT 시뮬레이터 GUI 설명서 ····· 748
부록 3 : PRT 주요특허의 대표 청구항 ····· 788

<표 차례>

<표 2.1.1> SKYCAR 개발 목표 사양 ····· 7
<표 2.1.2> VECTUS PRT 세부 사양 ····· 8
<표 2.1.3> 순천만 정원박람회 PRT 개요 ····· 8
<표 2.1.4> 여수EXPO PRT 시스템 설치사업 개요 ····· 9
<표 2.1.5> 국립과천과학관 PRT 시스템 설치사업 개요 ····· 9
<표 2.1.6> 설악산 PRT 시스템 설치사업 개요 ····· 9
<표 2.1.7> 운북지구 PRT 시스템 설치사업 개요 ····· 10
<표 2.1.8> 평창 PRT 시스템 설치사업 개요 ····· 10
<표 2.1.9> 강릉시 PRT 시스템 설치사업 개요 ····· 11
<표 2.2.1> CabinTaxi 특징 ····· 18
<표 2.2.2> Skyweb Express 운영현황 ····· 21
<표 2.3.1> 검색식 및 분석건수 ····· 28
<표 2.3.2> 추가 검색식 및 분석건수 ····· 29
<표 2.3.3> 최종 유효데이터 분석건수 ····· 30
<표 2.3.4> 기술 분류 및 데이터 선별기준 ····· 31
<표 2.3.5> 주요 출원인별 연도별 출원현황 ····· 37
<표 2.3.6> PRT 기술분류표 ····· 42
<표 2.3.7> 최근 3년간 특허출원현황 ····· 44
<표 2.3.8> PRT 분야 주요특허 목록 ····· 51
<표 2.3.9> Advanced Transport Systems의 PRT 시스템 ····· 52
<표 2.3.10> Advanced Transport Systems의 PRT 분야 특허 ····· 53
<표 2.3.11> ATS사의 한국등록특허(KR94086) 요약 ····· 55
<표 2.3.12> ATS사의 한국등록특허(KR94086) 대응 특허 ····· 56
<표 2.3.13> ATS사의 한국공개특허(KR2009006860) 요약 ····· 58
<표 2.3.14> ATS사의 한국공개특허(KR2009006860) 대응 특허 ····· 58
<표 2.3.15> ATS사의 한국공개특허(KR2008017377) 요약 ····· 60
<표 2.3.16> ATS사의 한국등록특허(KR2008017377) 대응 특허 ····· 60
<표 2.3.17> ATS사의 한국공개특허(KR2006007382) 요약 ····· 62
<표 2.3.18> ATS사의 한국공개특허(KR2006007382) 대응 특허 ····· 63
<표 2.3.19> ATS사의 한국공개특허(KR2010131415) 요약 ····· 66
<표 2.3.20> ATS사의 한국공개특허(KR2010131415) 대응 특허 ····· 66
<표 2.3.21> ATS사의 한국공개특허(KR2010015741) 요약 ····· 68
<표 2.3.22> ATS사의 한국공개특허(KR2010015741) 대응 특허 ····· 68
<표 2.3.23> ATS사의 한국공개특허(KR2010065270) 요약 ····· 72
<표 2.3.24> ATS사의 한국공개특허(KR2010065270) 대응 특허 ····· 72
<표 2.3.25> Posco(Vectus)의 PRT 시스템 ····· 74
<표 2.3.26> Posco의 PRT 분야 특허 ····· 75
<표 2.3.27> Posco(Vectus)의 한국등록특허(KR2009122847) 요약 ····· 77
<표 2.3.28> Posco(Vectus)의 한국등록특허(KR2009122847) 대표 청구항 ····· 78
<표 2.3.29> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2009017514) 요약 ····· 80
<표 2.3.30> Posco(Vectus)의 한국등록특허(KR2009017514) 대응 특허 ····· 81
<표 2.3.31> Posco(Vectus)의 한국등록특허(KR1059556) 요약 ····· 84
<표 2.3.32> Posco(Vectus)의 한국등록특허(KR1059556) 대표 청구항 ····· 85
<표 2.3.33> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2010127518) 요약 ····· 86
<표 2.3.34> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2010127518) 대표 청구항 ····· 87
<표 2.3.35> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2010137169) 요약 ····· 89
<표 2.3.36> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2010137169) 대표 청구항 ····· 89
<표 2.3.37> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2009122848) 요약 ····· 91
<표 2.3.38> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2009122848) 대표 청구항 ····· 91
<표 2.3.39> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1021977) 요약 ····· 94
<표 2.3.40> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1021977) 대표 청구항 ····· 95
<표 2.3.41> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1076494) 요약 ····· 96
<표 2.3.42> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1076494) 대표 청구항 ····· 97
<표 2.3.43> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1065463) 요약 ····· 98
<표 2.3.44> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1065463) 대표 청구항 ····· 99
<표 2.3.45> Taxi 2000(SkyWeb Express)의 PRT 시스템 ····· 100
<표 2.3.46> Taxi 2000의 PRT 분야 특허 ····· 101
<표 2.3.47> 2getthere의 PRT 시스템 ····· 101
<표 2.3.48> 2getthere의 PRT 분야 특허 ····· 102
<표 2.3.49> 한국철도기술연구원의 PRT 분야 특허 ····· 104
<표 3.1.1> 각 서브시스템별 기능 ····· 111

<표 3.1.1> 각 서브시스템별 기능(계속) ····· 112
<표 3.1.2> 집중제어개념의 설계를 위한 설계전제 ····· 113
<표 3.2.1> 최적경로 탐색 알고리즘을 위한 통행시간 산출 방법 ····· 182
<표 3.3.1> 역사 내 차량 모드 ····· 234
<표 3.3.2> 최단거리 루트선정 인덱스 테이블 ····· 243
<표 3.3.3> 노선 주행 중 차량의 운전모드 ····· 249
<표 3.3.4> 차량 배차 및 발생되는 공차 수요 ····· 261
<표 3.3.5> 표 3.3.4에 대응한 공차 배차 계획 ····· 261
<표 3.3.6> PRT수송수요 OD(서울 상암DMC 지역) ····· 272
<표 3.3.7> 시험노선 차량소요대수 및 역사규모 분석결과 ····· 272
<표 3.3.8> 승객 승하차 시간 ····· 281
<표 3.4.1> 소형차로의 종단경사(%) ····· 315
<표 3.4.2>급전방식에 따른 특징 비교 ····· 328
<표 3.4.3> 급전 방식의 종류 ····· 331
<표 3.4.4> 급전 방식의 특성비교 ····· 331
<표 3.4.5> 차단기 형식 비교 ····· 332
<표 3.4.6> 절연 방식에 의한 특성비교 ····· 333
<표 3.4.7> 결선 방식에 의한 특성비교 ····· 334
<표 3.4.8> 정류기 형식 비교 ····· 334
<표 3.4.9> 차단 방식에 의한 특성비교 ····· 335
<표 3.4.10> 해외 PRT시스템 추진방식/급전방식/소비전력/크기/정원 ····· 337
<표 3.4.11> 급전방식에 따른 지상/차상 급전설비 ····· 339
<표 3.4.12> 교류방식(유도급전)과 직류방식(제3궤조)의 비교 ····· 357
<표 3.4.13> 접촉방식에 따른 비교 ····· 358
<표 3.4.14> 선로구축물 설계 하중 ····· 362
<표 3.4.15> 국외 PRT시스템의 고가형태 선로구축물
지지기둥 간격 및 높이 ····· 363
<표 3.4.16> PRT 차량속도에 따른 곡선반경 ····· 379
<표 3.4.17> 선로구축물 형태 비교 ····· 382
<표 3.4.18> PRT 승차장수에 따른 수송용량 ····· 393
<표 3.4.19> 국내외 개발중인 PRT 개발 목표 사양 ····· 395
<표 3.4.20> PRT 개발 목표 사양(4~6인승) ····· 396
<표 3.4.21> GRT 개발 목표 사양(12인승) ····· 397
<표 3.4.22> 기존 철도 제동코드 ····· 399
<표 3.4.23> PRT 역행노치와 역행코드 ····· 401
<표 3.4.24> 도로의 구조시설기준에 관한 규정 ····· 408
<표 3.4.25> 콘크리트 포장도로 마찰계수(일본도로공학) ····· 408
<표 3.5.1> PRT 적용의 유형별 특성 ····· 413
<표 3.5.2> 대상지역 선정 기준 ····· 414
<표 3.5.3> ULTra PRT와 기존 셔틀버스 사이의 총 소요시간 비교 ····· 423
<표 3.5.4> 현행 지침에서 제시하는 영향권 구분 ····· 436
<표 3.5.5> 전국 지역 간 O/D 현황 ····· 438
<표 3.5.6> KTDB 광역권 자료의 O/D 현황 ····· 438
<표 3.5.7> 전국 지역 간 O/D 현황 ····· 439
<표 3.5.8> 수도권 자료 존 체계 ····· 439
<표 3.5.9> 서울시 자치구 별 행정동, 통, 반 현황(2009년 기준) ····· 441
<표 3.5.10> 교통수요예측모형의 종류 ····· 445
<표 3.5.11> 전통적인 4단계 추정방법의 단계적 모형개요 ····· 446
<표 3.5.12> 자료구조 및 분석도구 개요 ····· 449
<표 3.5.13> 수단분담모형 분석결과(전국대도시권 BRT 구축 수립계획) ····· 451
<표 3.5.14> 수단선택모형의 효용함수 파라미터값1(수도권) ····· 452
<표 3.5.15> 수단선택모형의 효용함수 파라미터값2(수도권) ····· 454
<표 3.5.16> 수단선택 모형결과 ····· 456
<표 3.5.17> PRT 사업 비용의 분류 ····· 458
<표 3.5.18> 노반공사비의 구성항목 ····· 459
<표 3.5.19> 본선구간 표준공사비(개략적 기준, 2010년 기준) ····· 463
<표 3.5.20> 정거장 표준공사비(2007년 기준) ····· 463
<표 3.5.21> 유형별 궤도 표준공사비(2007년 기준) ····· 464
<표 3.5.22> 건축 표준공사비(2010년 기준) ····· 464
<표 3.5.23> 전기 표준공사비(2010년 기준) ····· 465
<표 3.5.24> 신호 표준공사비(2010년 기준) ····· 465
<표 3.5.25> 통신 표준공사비(2010년 기준) ····· 466
<표 3.5.26> 연차별 건설계획 ····· 475
<표 3.5.27> 지목별 보상배율 ····· 480

<표 3.5.28> 대상지역 유형구분 ····· 482
<표 3.5.29> 행정중심복합도시의 단계별 개발 현황 및 추진계획 ····· 486
<표 3.5.30> 대상지역 O/D현황 ····· 489
<표 3.5.31> 행정중심복합도시 1-5지구 세분화된 O/D ····· 489
<표 3.5.32> 행정중심복합도시 존 간 거리 ····· 490
<표 3.5.33> 행정중심복합도시 존 간 통행시간 ····· 490
<표 3.5.34> 세분화된 존의 버스 O/D ····· 491
<표 3.5.35> 요금수준별 PRT 전환율 산정 결과 값 ····· 492
<표 3.5.36> 운임 1,000원시 PRT수요 ····· 492
<표 3.5.37> 운임 1,300원시 PRT수요 ····· 493
<표 3.5.38> 운임 1,700원시 PRT수요 ····· 493
<표 3.5.39> 대상지역 O/D현황 ····· 497
<표 3.5.40> 성내1동 세분화된 O/D ····· 497
<표 3.5.41> 성내2동 세분화된 O/D ····· 497
<표 3.5.42> 세분화된 존의 존간 O/D ····· 498
<표 3.5.43> 요금수준별 PRT 전환율 산정 결과 값 ····· 498
<표 3.5.44> 세분화된 존의 버스 O/D ····· 499
<표 3.5.45> 운임 1,000원시 PRT수요 ····· 499
<표 3.5.46> 운임 1,300원시 PRT수요 ····· 500
<표 3.5.47> 운임 1,700원시 PRT수요 ····· 500
<표 3.5.48> 2차 검토대상 지역 ····· 502
<표 3.5.49> 3차 검토대상 지역 ····· 503
<표 3.5.50> 대상지역 O/D현황 ····· 505
<표 3.5.51> 공릉1동 세분화된 O/D ····· 505
<표 3.5.52> 공릉2동 세분화된 O/D ····· 505
<표 3.5.53> 공릉3동 세분화된 O/D ····· 506
<표 3.5.54> 세분화된 존의 존간 O/D ····· 506
<표 3.5.55> 세분화된 존의 버스 O/D ····· 507
<표 3.5.56> 요금수준별 PRT 전환율 산정 결과 값 ····· 507
<표 3.5.57> 운임 1,000원시 PRT수요 ····· 507
<표 3.5.58> 운임 1,300원시 PRT수요 ····· 508
<표 3.5.59> 운임 1,700원시 PRT수요 ····· 508
<표 3.5.60> 총 공사비 (예시) ····· 509
<표 3.5.61> 유형별 적용성 검토 ····· 511
<표 3.5.62> 송도 신도시 지역 PRT 노선(가상) 개요 ····· 512
<표 3.5.63> 상암 DMC지역 PRT 노선(가상) 개요 ····· 513
<표 3.5.64> 최종 설문항목 ····· 520
<표 3.5.65> 설문조사지 수정/보완 내용 ····· 525
<표 3.5.66> 지역별 가구당 평균 자동차 보유대수 ····· 529
<표 3.5.67> 조사지역 외부 통행단 분포 ····· 535
<표 3.5.68> 조사지역 외부 통행단 비율 ····· 536
<표 3.5.69> 서울시 수단분담률 현황 ····· 537
<표 3.5.70> 인천시 수단분담률 현황 ····· 537
<표 3.5.71> PRT 적정요금에 대한 기술통계량 ····· 541
<표 3.5.72> PRT 적정요금에 대한 기술통계량 ····· 542
<표 3.5.73> 현황수단선택모형 추정결과 ····· 552
<표 3.5.74> PRT 수단분담모형 추정결과(버스노선 운영) ····· 554
<표 3.5.75> PRT 수단분담모형 추정결과(버스노선 폐지) ····· 555
<표 3.5.76> 현황수단선택모형 추정결과 ····· 557
<표 3.5.77> PRT 수단분담모형 추정결과(버스노선 운영) ····· 558
<표 3.5.78> PRT 수단분담모형 추정결과(버스노선 폐지) ····· 559
<표 3.5.79> 현황수단선택모형 추정결과 ····· 561
<표 3.5.80> PRT 수단선택모형 추정결과 ····· 562
<표 3.5.81> 현황수단선택모형 추정결과 ····· 563
<표 3.5.82> PRT 수단선택모형 추정결과 ····· 564
<표 3.5.83> 계수 및 시간가치 추정결과 ····· 565
<표 3.5.84> 계수 및 시간가치 추정결과 ····· 567
<표 3.5.85> 도시철도법과 궤도운송법 관련 비교표 ····· 578
<표 3.5.86> 도시철도건설규칙 관련 조항 및 검토내용 ····· 583
<표 4.2.1> PRT 차량 기술의 국내외 기술수준 ····· 606
<표 4.2.2> PRT 차량 핵심기술 분석 ····· 606
<표 4.2.3> PRT 운행제어 기술의 국내외 기술수준 ····· 610
<표 4.2.4> PRT 운행제어 핵심기술 분석 ····· 611
<표 4.2.5> PRT 선로구축물 기술의 국내외 기술수준 ····· 615

<표 4.2.6> PRT 선로구축물 핵심기술 분석 ····· 616
<표 4.2.7> PRT 전력공급 기술의 국내외 기술수준 ····· 620
<표 4.2.8> PRT 전력공급 핵심기술 분석 ····· 621
<표 4.2.9> 연구개발 성과(목표) ····· 627
<표 7.3.1> Masdar 프로젝트 PRT 차량 사양 ····· 695

<그림 차례>

<그림 1.1.1> 환경변화에 따른 대중교통수단의 발전방향 ····· 1
<그림 1.1.2> PRT시스템의 특징 ····· 2
<그림 1.3.1> 대중교통수단으로서 PRT의 위치 ····· 5
<그림 1.3.2> 연구범위의 도식화 내용 ····· 5
<그림 2.1.1> SKYCAR의 차량과 테스트 트랙 ····· 6
<그림 2.1.2> VECTUS의 차량과 테스트 트랙 ····· 7
<그림 2.2.1> Dashaveyor 시스템 ····· 12
<그림 2.2.2> ROMAG 시스템 ····· 13
<그림 2.2.3> Alden staRRcar 차량 ····· 13
<그림 2.2.4> Morgantown의 GRT 시스템 ····· 15
<그림 2.2.5> Heathrow 공항의 ULTra 시스템 ····· 16
<그림 2.2.6> Critical MOVE의 시스템 ····· 16
<그림 2.2.7> CyberCab ····· 17
<그림 2.2.8> CabinTaxi 구조물 ····· 18
<그림 2.2.9> CVS 시스템 ····· 19
<그림 2.2.10> PRT2000 시스템 ····· 20
<그림 2.2.11> MISTER 시스템 ····· 22
<그림 2.2.12> JPods 시스템 ····· 22
<그림 2.2.13> 산호세 Norman Y.Mineta공항의 항의 PRT 예상역 ····· 24
<그림 2.3.1> 전체 연도별 특허동향 ····· 33
<그림 2.3.2> 국가별 전체 특허 출원동향 ····· 34
<그림 2.3.3> 상위 다출원인 TOP10 ····· 35
<그림 2.3.4> 상위 다출원인 국가별 출원현황 ····· 36
<그림 2.3.5> 한국 상위 다출원인 출원현황 ····· 37
<그림 2.3.6> 상위 다출원인 세부 기술별 특허 현황 ····· 38
<그림 2.3.7> 포트폴리오로 본 PRT 분야 기술 위치 ····· 39
<그림 2.3.8> 기술별 전체 특허 출원동향 ····· 40
<그림 2.3.9> 세부기술별 특허 출원현황 ····· 41
<그림 2.3.10> 국가별 기술별 특허 출원동향 ····· 42

<그림 2.3.11> 기술별 주요출원인별 특허현황 ····· 43
<그림 2.3.12> PRT 기술 발전 흐름도 ····· 50
<그림 3.1.1> PRT 운행제어 구조 ····· 109
<그림 3.1.2> PRT 운행제어 계층 ····· 110
<그림 3.1.3> 운행제어시스템의 개념구성도 ····· 114
<그림 3.1.4> 운행제어시스템의 지상 장치 구성도 ····· 115
<그림 3.1.5> 운행제어시스템의 차상 장치 구성도 ····· 116
<그림 3.1.6> 각 제어시스템의 기능적 인터페이스 개략도 ····· 116
<그림 3.1.7> 중앙 제어 시스템의 개념적 구성도 ····· 117
<그림 3.1.8> 역 제어 시스템의 기본 구성도 ····· 118
<그림 3.1.9> 선로 변 제어 시스템의 개념적 구성도 ····· 119
<그림 3.1.10> 차량 제어 시스템의 기본 구성도 ····· 120
<그림 3.1.11> 기본운행 시나리오 개념도 ····· 122
<그림 3.1.12> 차량관리 및 운행제어 시스템의 구조적 개념도 ····· 123
<그림 3.1.13> 승객 역 진입 시 정보 흐름도 ····· 125
<그림 3.1.14> 목적지 선택 후 스케쥴 모드의 정보 흐름 ····· 126
<그림 3.1.15> 목적지 선택 후 요구모드(1)의 정보 흐름 ····· 126
<그림 3.1.16> 목적지 선택 후 요구모드(2)의 정보 흐름 ····· 127
<그림 3.1.17> 목적지 선택 후 역 현시제어 ····· 127
<그림 3.1.18> 승차장 목적지 현시 ····· 128
<그림 3.1.19> 무인차량 이동에 대한 정보흐름 ····· 128
<그림 3.1.20> 차량 문 개방에 대한 정보 흐름 ····· 129
<그림 3.1.21> 자동문 닫힘 및 확인 신호 전송을 위한 정보흐름 ····· 130
<그림 3.1.22> 차량 출발에 대한 정보흐름 ····· 131
<그림 3.1.23> 차량의 주 선로 진입을 위한 정보 흐름 ····· 131
<그림 3.1.24> 주 선로에서 속도 변화를 위한 정보 흐름 ····· 132
<그림 3.1.25> 주 선로에서 역 진입을 위한 정보 흐름 ····· 133
<그림 3.1.26> 역 진입 속도에 대한 정보의 흐름 ····· 133
<그림 3.1.27> 승객 하차에 대한 정보 흐름 ····· 134
<그림 3.1.28> 정상 상태에서 요구모드 운행 알고리즘 ····· 135
<그림 3.1.29> 요구모드(1) 에 대한 운행 시나리오 ····· 136
<그림 3.1.30> 요구모드(2) 에 대한 운행 시나리오 ····· 137
<그림 3.1.31> 스케쥴 모드의 개략적인 순서도 ····· 139
<그림 3.1.32> 스케쥴 모드에 대한 운행 시나리오 ····· 140
<그림 3.1.33> 운행 알고리즘 전환 방식 (요구모드 ⇒ 스케쥴모드) ····· 141
<그림 3.1.34> 운행 알고리즘 전환 방식 (주 스케쥴러 A ⇒ 주 스케쥴러 B) 141
<그림 3.1.35> PRT 운행노선 및 노선상의 차량 ····· 143
<그림 3.1.36> 역 진출입 개념도 ····· 147
<그림 3.3.1> 프로그램 구성 Class 및 분류모듈 ····· 184
<그림 3.3.2> MainFrame 윈도우 창 ····· 185
<그림 3.3.3> NetworkJPanel 화면 ····· 190
<그림 3.3.4> 노드 추가 창 ····· 194
<그림 3.3.5> 링크 추가창 ····· 195
<그림 3.3.6> 사용자 네트워크 ····· 198
<그림 3.3.7> 시뮬레이션 네트워크 ····· 198
<그림 3.3.8> 병행링크 개념 ····· 199
<그림 3.3.9> 이전링크 개념 ····· 199
<그림 3.3.10> 다음링크 개념 ····· 199
<그림 3.3.11> Box-Muller 개념 및 알고리즘 ····· 204
<그림 3.3.12> 누적 음지수 분포 및 음지수확률변수 도출 구조 ····· 205
<그림 3.3.13> 4개 정류장일 경우 OD 입력 예시 ····· 207
<그림 3.3.14> 가상 센트로이드 ····· 208
<그림 3.3.15> 병행링크 설정 ····· 208
<그림 3.3.16> Label correcting algorithm ····· 214
<그림 3.3.17> 합류부 차량진행 예시 ····· 220
<그림 3.3.18> Node 메뉴 예시 ····· 223
<그림 3.3.19> Node 추가창 ····· 223
<그림 3.3.20> 링크 메뉴 예시 ····· 224
<그림 3.3.21> 링크 추가창 ····· 225
<그림 3.3.22> Simulation 메뉴 예시 ····· 226
<그림 3.3.23> Simulation 화면 ····· 226
<그림 3.3.24> 시뮬레이터의 구성 ····· 229
<그림 3.3.25> 시뮬레이션 수행 흐름도 ····· 230
<그림 3.3.26> 직렬 일렬 승강장 개념도 ····· 230

<그림 3.3.27> 화면 상의 역사 모델 및 역사 속성 ····· 232
<그림 3.3.28> 역사 운영 흐름도 ····· 235
<그림 3.3.29> 차량의 승강장 내 이동 알고리즘 ····· 235
<그림 3.3.30> 승객 하차 알고리즘 ····· 236
<그림 3.3.31> 승객 승차 알고리즘 ····· 236
<그림 3.3.32> Dispatch Car 알고리즘 ····· 237
<그림 3.3.33> 공차(loop_car) call 알고리즘 ····· 237
<그림 3.3.34> 역사 모델1 ····· 237
<그림 3.3.35> 역사 모델2 ····· 238
<그림 3.3.36> 역사 모델3 ····· 238
<그림 3.3.37> 역사 모델4 ····· 239
<그림 3.3.38> 역사 모델5 ····· 239
<그림 3.3.39> 역사 모델6 ····· 240
<그림 3.3.40> 역사 모델7 ····· 240
<그림 3.3.41> 역사 모델8 ····· 241
<그림 3.3.42> 루트 선정을 위한 인덱싱 방법 ····· 243
<그림 3.3.43> 3번 역사 모델 ····· 244
<그림 3.3.44> 승객 속성 ····· 245
<그림 3.3.45> 입력 data 중 수송수요 입력 부분 ····· 245
<그림 3.3.46> 역 대기승객 배열 ····· 246
<그림 3.3.47> 10번 역사 모델 ····· 246
<그림 3.3.48> 화면에서의 차량 모델과 차량 속성 ····· 248
<그림 3.3.49> 차량 운전의 논리 흐름도 ····· 250
<그림 3.3.50> 비동기식 안전운행 제어방식의 안전거리 ····· 251
<그림 3.3.51> 트랙 관리 흐름도 ····· 254
<그림 3.3.52> 병합구간에서의 운행제어 ····· 256
<그림 3.3.53> 병합구간에서의 차량의 도착관계 ····· 256
<그림 3.3.54> 분기구간에서의 주행[1] ····· 258
<그림 3.3.55> 분기구간에서의 주행[2] ····· 259
<그림 3.3.56> 분기구간에서의 주행[3] ····· 259
<그림 3.3.57> 공차계획배차 ····· 262
<그림 3.3.58> 공차 상태 ····· 263
<그림 3.3.59> 공차 요청 ····· 264
<그림 3.3.60> 공차 배차 ····· 264
<그림 3.3.61> 사고정지 차량 발생시 차량 운행제어 알고리즘 ····· 266
<그림 3.3.62> 시뮬레이션 중 사고차량 발생 모의 ····· 266
<그림 3.3.63> 사고차량 발생에 따른 주행불능 트랙설정 ····· 267
<그림 3.3.64> 사용자 입력 파일(서울 상암DMC 사례) ····· 268
<그림 3.3.65> 시험 트랙 ····· 269
<그림 3.3.66> 최단거리 루트 선정(역사 27->역사 284) ····· 270
<그림 3.3.67> 최소비용 루트 선정(역사 14->28) ····· 271
<그림 3.3.68> 시험노선(서울 상암DMC 지역) ····· 273
<그림 3.3.69> 시뮬레이션 결과(상암DMC, 차량 36대) ····· 273
<그림 3.3.70> 시뮬레이션 결과(상암DMC, 차량 60대) ····· 274
<그림 3.3.71> 시뮬레이션 결과(상암DMC, 차량 70대) ····· 274
<그림 3.3.72> 단순 직렬 PRT 정류장 예시 ····· 277
<그림 3.3.73> PRT 용량 결정 요소 ····· 277
<그림 3.3.74> 음지수확률변수 도출 구조 ····· 280
<그림 3.3.75> Box-Muller 개념 및 알고리즘 ····· 281
<그림 3.3.76> 프로그램 구성 Class 및 분류모듈 ····· 283
<그림 3.3.77> Unit simulation 메뉴 예시 ····· 300
<그림 3.3.78> SimulationFrame 화면 ····· 300
<그림 3.3.79> Multi simulation 메뉴 예시 ····· 301
<그림 3.3.80> MultiSimOutputFrame 화면 ····· 302
<그림 3.3.81> 이상조건 용량 수준 ····· 303
<그림 3.3.82> 거부율 대 대기시간 ····· 305
<그림 3.3.83> 정차대수 대 거부율/대시시간
(at equilibrium for demand level of 1,000 per hour) ····· 307
<그림 3.3.84> 정차대수 대 거부율/대시시간
(at equilibrium for demand level of 2,000 per hour) ····· 308
<그림 3.3.85> 정차대수 대 거부율/대시시간
(at equilibrium for demand level of 2,500 per hour) ····· 309
<그림 3.4.1> 매몰식 제3궤조 집전방식(프랑스 보드로 트램) ····· 312
<그림 3.4.2> 2단 헬리컬기어 감속구동장치(바이모달 트램) ····· 313

<그림 3.4.3> 레이저를 이용한 PRT 차량 안내방식 ····· 314
<그림 3.4.4> 자석을 이용한 PRT 차량 안내방식 ····· 314
<그림 3.4.5> PRT 주행제어장치 구성 개념도 ····· 325
<그림 3.4.6> 충전방식의 배터리 제어개념도 ····· 325
<그림 3.4.7> 유도급전에 의한 전원공급 개념 ····· 325
<그림 3.4.8> 차량 전력설비(예) ····· 336
<그림 3.4.9> 무정전 전력공급 시스템(예) ····· 337
<그림 3.4.10> 유도급전방식의 개략도 ····· 338
<그림 3.4.11> 교류 급전방식을 이용한 1개 역사 유도급전의 개략도 ····· 340
<그림 3.4.12> 유도급전방식의 개략도 ····· 340
<그림 3.4.13> 유도급전 역사 급전회로 구성 및
배터리 차량의 시스템 개념도 ····· 342
<그림 3.4.14> 비접촉 유도급전 방식을 이용한 PRT 시스템에의 적용 사례 ···· 342
<그림 3.4.15> 급집전 시스템 원리 및 회로 구성도 ····· 343
<그림 3.4.16> Ultra-capacitor를 이용한 전류공급 시스템 ····· 345
<그림 3.4.17> 휴대폰용 PCM ····· 349
<그림 3.4.18> 모바일 기기용 PCM ····· 349
<그림 3.4.19> 노트북용 SBM ····· 350
<그림 3.4.20> Ni-MH용 BMS ····· 352
<그림 3.4.21> LI-PB용 BMS(일체형) ····· 352
<그림 3.4.22> Li-PB용 BMS(분리형) ····· 352
<그림 3.4.23> 중대형 전지용 배터리팩(시험용) ····· 353
<그림 3.4.24> 일본 가와사키 중공업 저상트램
SWIMO-X에 적용된 2차전지 (Ni-MH) ····· 353
<그림 3.4.25> 자동차용 2차전지 시장 전망 ····· 355
<그림 3.4.26> EV/HEV에 장착된 전지의 출력/에너지 성능 비교 ····· 356
<그림 3.4.27> 영국 히드로공항 고가구조물 시공 모습 ····· 364
<그림 3.4.28> 영국 히드로공항 고가구조물 상판 ····· 365
<그림 3.4.29> 유리섬유재질 망으로 구성된 주행로 ····· 365
<그림 3.4.30> 영국 ULTra 시스템의 고가구조물 일반도 ····· 366
<그림 3.4.31> 영국 ULTra 시스템의 고가구조물 횡단면도 ····· 366
<그림 3.4.32> 콘크리트 경계석 및 아스팔트 재질의
주행로를 갖는 지상 노면 주행로 (영국 히드로공항 PRT) ····· 367
<그림 3.4.33> 영국 ULTra시스템의 하부구조물 개념도 ····· 368
<그림 3.4.34> 캔틸레버 형식의 고가구조물 개념도 ····· 371
<그림 3.4.35> 지하형태의 정거장 구조물 개념도 ····· 371
<그림 3.4.36> Typical UAL Station ····· 372
<그림 3.4.37> Two-sided UAL Station ····· 372
<그림 3.4.38> Typical Unload Move Load(UML) Station ····· 373
<그림 3.4.39> Two-platform UML Station ····· 373
<그림 3.4.40> Two-entrance Station ····· 374
<그림 3.4.41> Chain-Link, Dual-Direction Station ····· 375
<그림 3.4.42> 단일 노선상 상하 입체 형태의 본선 및 지선 ····· 375
<그림 3.4.43> 단방향 운행 네트워크 ····· 376
<그림 3.4.44> 부분 양방향 운행 네트워크 ····· 377
<그림 3.4.45> 양방향 일체형 고가형태 선로구축물 ····· 377
<그림 3.4.46> 노면 및 저심도 형태 양방향 일체형 선로구축물 ····· 378
<그림 3.4.47> 복측형 저심도 형태 양방향 일체형 선로구축물 ····· 378
<그림 3.4.48> 고가형태의 PRT 선로구축물(영국 히드로공항) ····· 380
<그림 3.4.49> 도심지내 슬림한 고가형태 선로구축물 (호주 모노레일) ····· 380
<그림 3.4.50> 건물과 연결된 정거장 및 열차 진입 모습(호주 모노레일) ····· 381
<그림 3.4.51> 노면 및 고가형태 선로구축물이 혼용된
영국 히드로공항 PRT시스템 ····· 383
<그림 3.4.52> 일반차도와 병행운영 중인 호주 노면전차 ····· 383
<그림 3.4.53> ULTra사의 PRT 용량 검토 ····· 393
<그림 3.4.54> 대중교통 통행소요시간 비교 ····· 394
<그림 3.4.55> 제동응답시간 ····· 400
<그림 3.4.56> 제동노치 변화시 응답시 ····· 400
<그림 3.4.57> 역행응답시간 ····· 401
<그림 3.4.58> 역행노치변환시 응답시간 ····· 401
<그림 3.4.59> 출입문 개방 절차 ····· 402
<그림 3.4.60> 출입문 닫음 절차 ····· 403
<그림 3.5.1> 적용지역 선정 흐름도 ····· 413
<그림 3.5.2> 영국 히드로 공항의 PRT노선 및 차량 ····· 423

<그림 3.5.3> Masdar도시의 탄소 감축 계획 ····· 425
<그림 3.5.4> Masdar 도시의 교통계획 ····· 425
<그림 3.5.5> 2getthere社의 PRT 및 LRT 차량 ····· 426
<그림 3.5.6> Ridership Analysis Flowchart ····· 430
<그림 3.5.7> 기존 자료가 없을 경우 세부존간 O/D 구축 흐름도 ····· 442
<그림 3.5.8> 존내 내부통행의 개념 ····· 443
<그림 3.5.9> 세부존 O/D와 KTDB 결합사례 ····· 444
<그림 3.5.10> 철도기술연구원(2006) 연구의 수요예측방법 ····· 448
<그림 3.5.11> 비용추정방법 ····· 461
<그림 3.5.12> 비용추정과정 ····· 462
<그림 3.5.13> 운영인원 산정 흐름도 ····· 467
<그림 3.5.14> 기구조직 ····· 467
<그림 3.5.15> 역무인원 조직도 ····· 468
<그림 3.5.16> 시설유지관리 조직도 ····· 469
<그림 3.5.17> 팀별 조직도 ····· 469
<그림 3.5.18> 종합사령인원 조직도 ····· 470
<그림 3.5.19> 차량보수인원 조직도 ····· 471
<그림 3.5.20> 운행 및 유지관리비 산출 흐름도 ····· 472
<그림 3.5.21> 용지보상비 추정과정 ····· 478
<그림 3.5.22> 적용지역 선정기준 절차도 ····· 485
<그림 3.5.23> 행정중심복합도시의 토지이용계획 ····· 486
<그림 3.5.24> 행정중심복합도시 제안노선 ····· 487
<그림 3.5.25> 행정중심복합도시 존 세분화 예시 ····· 488
<그림 3.5.26> 대구광역시 중앙로 대중교통중심지구 지정 전후 전경 ····· 494
<그림 3.5.27> 대구광역시 중앙로 대중교통중심지구 제안노선 ····· 495
<그림 3.5.28> 대구광역시 중앙로 대중교통중심지구 존 세분화 예시 ····· 496
<그림 3.5.29> 1차 검토대상 지역 ····· 501
<그림 3.5.30> 존세분화 예시 ····· 504
<그림 3.5.31> 최소인구규모(Pm) 산정 과정 ····· 509
<그림 3.5.32> 송도 신도시 PRT 노선(가상) ····· 512
<그림 3.5.33> 상암 DMC지역 PRT 노선(가상) ····· 513
<그림 3.5.34> 통행자 의사결정 과정 ····· 514
<그림 3.5.35> 설문내용의 구성 ····· 517
<그림 3.5.36> 과업의 공간적 범위 ····· 518
<그림 3.5.37> 상암DMC 조사 설문지 앞면 ····· 521
<그림 3.5.38> 상암DMC 조사 설문지 뒷면 ····· 522
<그림 3.5.39> 송도신도시 설문지 앞면 ····· 523
<그림 3.5.40> 송도신도시 설문지 뒷면 ····· 524
<그림 3.5.41> 조사대상지역의 구분 ····· 526
<그림 3.5.42> 남녀구성비율 ····· 527
<그림 3.5.43> 연령대별 분포 ····· 527
<그림 3.5.44> 차량소유여부 ····· 528
<그림 3.5.45> 직업군 분포 ····· 528
<그림 3.5.46> 가구당 차량 보유대수 ····· 529
<그림 3.5.47> 가구 월평균 소득 ····· 530
<그림 3.5.48> 거구지/직장의 조사지역 근접성 여부 ····· 530
<그림 3.5.49> 내부통행의 목적 ····· 531
<그림 3.5.50> 상암 DMC 내부통행 출발/도착지 분포 ····· 532
<그림 3.5.51> 송도신도시 내부통행 출발/도착지 분포 ····· 533
<그림 3.5.52> 내부통행의 수단분담률 ····· 534
<그림 3.5.53> 외부통행목적 분포 ····· 534
<그림 3.5.54> 상암 DMC 외부통행 출발/도착지 분포 ····· 535
<그림 3.5.55> 송도신도시 외부통행 출발/도착지 분포 ····· 536
<그림 3.5.56> 외부통행의 교통수단 분담률 ····· 537
<그림 3.5.57> 외부통행시 환승여부 ····· 538
<그림 3.5.58> 환승 위치 ····· 538
<그림 3.5.59> 내부통행 시 PRT 이용여부 ····· 539
<그림 3.5.60> PRT 이용여부 응답이유 ····· 540
<그림 3.5.61> PRT 적정요금 ····· 541
<그림 3.5.62> PRT 경쟁 교통수단 ····· 541
<그림 3.5.63> 최대지불 가능 요금 ····· 542
<그림 3.5.64> 버스노선 폐지 시 PRT 이용여부 ····· 542
<그림 3.5.65> 상암 DMC 수단분담률 ····· 543
<그림 3.5.66> PRT 전환 예상인원의 현재 이용교통수단 ····· 543

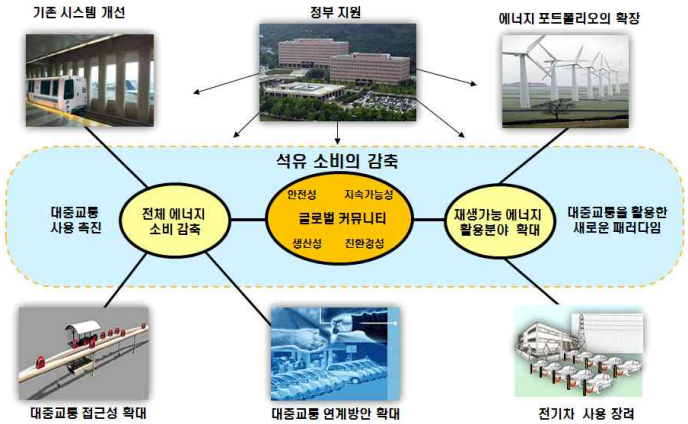
<그림 3.5.67> PRT 이용 이유(상암DMC) ····· 544
<그림 3.5.68> PRT 미전환 예상인원의 현재 이용교통수단 ····· 544
<그림 3.5.69> PRT를 이용하지 않는 이유(상암DMC) ····· 545
<그림 3.5.70> 송도신도시 수단분담률 ····· 545
<그림 3.5.71> PRT 전환 예상인원의 현재 이용교통수단 ····· 546
<그림 3.5.72> 버스노선 유/무에 따른 이용여부 ····· 546
<그림 3.5.73> PRT 소요차량대수(상암, 2016년, 최대대기시간 2분) ····· 568
<그림 3.5.74> PRT 소요차량대수(상암, 2016년, 최대대기시간 3분) ····· 569
<그림 3.5.75> PRT 소요차량대수(상암, 2016년, 최대대기시간 5분) ····· 569
<그림 3.5.76> PRT 소요차량대수(상암, 2016년, 최대대기시간 7분) ····· 569
<그림 3.5.77> PRT 소요차량대수(상암, 2021년, 최대대기시간 2분) ····· 570
<그림 3.5.78> PRT 소요차량대수(상암, 2021년, 최대대기시간 3분) ····· 570
<그림 3.5.79> PRT 소요차량대수(상암, 2021년, 최대대기시간 5분) ····· 571
<그림 3.5.80> PRT 소요차량대수(상암, 2016년, 최대대기시간 2분) ····· 571
<그림 3.5.81> PRT 소요차량대수(송도, 2016년, 최대대기시간 2분) ····· 572
<그림 3.5.82> PRT 소요차량대수(송도, 2016년, 최대대기시간 3분) ····· 572
<그림 3.5.83> PRT 소요차량대수(송도, 2016년, 최대대기시간 5분) ····· 572
<그림 3.5.84> PRT 소요차량대수(송도, 2016년, 최대대기시간 7분) ····· 573
<그림 3.5.85> PRT 소요차량대수(송도, 2021년, 최대대기시간 2분) ····· 573
<그림 3.5.86> PRT 소요차량대수(송도, 2021년, 최대대기시간 3분) ····· 574
<그림 3.5.87> PRT 소요차량대수(송도, 2021년, 최대대기시간 5분) ····· 574
<그림 3.5.88> PRT 소요차량대수(송도, 2021년, 최대대기시간 7분) ····· 574
<그림 3.5.89> PRT 소요차량대수
(송도-버스폐지, 2016년, 최대대기시간 2분) ····· 575
<그림 3.5.90> PRT 소요차량대수
(송도-버스폐지, 2016년, 최대대기시간 3분) ····· 575
<그림 3.5.91> PRT 소요차량대수
(송도-버스폐지, 2016년, 최대대기시간 5분) ····· 576
<그림 3.5.92> PRT 소요차량대수
(송도-버스폐지, 2016년, 최대대기시간 7분) ····· 576
<그림 3.5.93> PRT 소요차량대수
(송도-버스폐지, 2021년, 최대대기시간 2분) ····· 577
<그림 3.5.94> PRT 소요차량대수
(송도-버스폐지, 2021년, 최대대기시간 3분) ····· 577
<그림 3.5.95> PRT 소요차량대수
(송도-버스폐지, 2021년, 최대대기시간 5분) ····· 577
<그림 3.5.96> PRT 소요차량대수
(송도-버스폐지, 2021년, 최대대기시간 7분) ····· 578
<그림 3.5.97> PRT 에스컬레이터 개념 구상도 ····· 591
<그림 3.5.98> PRT 엘리베이터 개념 구상도 ····· 592
<그림 3.5.99> PRT 엘리베이터 적용사례-1(복합환승센터) ····· 593
<그림 3.5.100> PRT 엘리베이터 적용사례-2(공항터미널과 주차장간 연계) ····· 593
<그림 4.2.1> PRT 차량 핵심기술 개발 세부과제의 TRM ····· 608
<그림 4.2.2> PRT 운행제어 핵심기술 개발 세부과제의 TRM ····· 614
<그림 4.2.3> PRT 인프라 기술 개발 세부과제의 TRM ····· 619
<그림 4.2.4> PRT 전력공급 핵심기술 개발 세부과제의 TRM ····· 623
<그림 4.2.5> 기존 철도기술과 PRT 기술과의 연계성 ····· 624
<그림 4.3.1> 연차별 PRT 기술개발 내용 ····· 633
<그림 4.3.2> PRT 시스템 개발 추진체계 ····· 634
<그림 7.1.1> Rivium 산업단지내 ParkShuttle 노선 ····· 668
<그림 7.1.2> 복선구간(일반) 및 단선교행구간(교각) ····· 669
<그림 7.1.3> ParkShuttle 운영실 및 차량정보 모니터 시스템 ····· 670
<그림 7.1.4> CCTV(차량 내부 및 외부하단[장애물검지]) ····· 670
<그림 7.1.5> 운영실 CCTV 모니터(차량내부, 차량전방[상측, 하측]) ····· 671
<그림 7.1.6> FROG 시스템의 위치보정을 위한 강자성체 ····· 671
<그림 7.1.7> ParkShuttle의 충전기 및 충전지 ····· 672
<그림 7.1.8> ParkShuttle 수동운전장치 ····· 672
<그림 7.1.9> ARAMIS 운행특성(차량분리) ····· 675
<그림 7.1.10> 궤도내 다양한 목적지 이동가능 ····· 675
<그림 7.1.11> ARAMIS 차량제원 ····· 676
<그림 7.1.12> ARAMIS 주요 구조물 제원 ····· 677
<그림 7.1.13> 라데팡스 배치도와 보행자 전용 광장 ····· 678
<그림 7.1.14> 라데팡스 지하교통수단 종류와 교통수단 위치 안내도 ····· 678
<그림 7.2.1> 2인승 CyberTran 프로토타입 ····· 680

<그림 7.2.2> CyberTran 내부, 2열시트 ····· 681
<그림 7.2.3> CyberTran 철제 바퀴 및 전체외관 ····· 681
<그림 7.2.4> SkyTran 개념도 ····· 682
<그림 7.2.5> SkyTran 구성도 ····· 682
<그림 7.2.6> SkyTran 프로토타입과 프로토타입의 LSM ····· 683
<그림 7.2.7> SkyTran 가이드웨이 ····· 683
<그림 7.2.8> 건물과 건물사이 글라스 터널 ····· 685
<그림 7.3.1> Masdar city 1단계 계획도 및 공사중인 Masdar Institute 전경 ·· 687
<그림 7.3.2> Masdar City 지속가능 교통수단 개념 ····· 688
<그림 7.3.3> Masdar City 교통 및 이동 시스템 계획 ····· 688
<그림 7.3.4> 2getthere PRT 차량의 내부모습 ····· 689
<그림 7.3.5> 차량 주행안내 자석 센서 ····· 690
<그림 7.3.6> Masdar City에서 운행중인 2getthere사의 PRT 차량 ····· 690
<그림 7.3.7> Berth에 설치되어 있는 충전 설비 ····· 691
<그림 7.3.8> Angled berth에 정차중인 PRT 차량 ····· 692
<그림 7.3.9> 역에 설치된 키오스크 ····· 692
<그림 7.3.10> Berth에 설치된 스크린도어 버튼 및
차량내부의 안내 터치스크린 ····· 693
<그림 7.3.11> PRT 운영실 및 운행제어 모니터 ····· 693
<그림 7.3.12> 비상견인차량 및 수동조정장치 ····· 694
<그림 7.3.13> 비상견인차량 및 수동조정장치 ····· 694

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발 개요

최근 국제적 이슈가 되고 있는 환경 변화에 대응하기 위한 '지속가능한 교통 수단'으로서, 환경 친화적이고 에너지 소비가 적은 궤도수송수단의 역할이 재조명되고 있다[1]. 도심 공간의 활용 극대화, 택시 수준의 편의성, 환경친화성을 가진 미래형 대중교통 시스템에 대한 필요성이 제기되고 있다. 기존의 철도교통수단은 개인교통수단으로서 입지가 확고한 자동차에 비해 대중교통은 접근성이 떨어지고 주로 대량수송수단인 점에서 야기되는 불편함으로 인해 활성화에 한계가 있으며, 다양해진 수송수요의 처리와 친환경성, 경제성 등의 요구조건을 만족하기 위해서는 미래지향적이고 첨단화된 대중교통체계로의 전환이 필요하다.



<그림 1.1.1> 환경변화에 따른 대중교통수단의 발전방향

승객여정선택형 대중교통수단(PRT: Personal Rapid Transit)은 총연장거리가 1~10㎞, 시간당·방향당 3,000~10,000명 정도를 수송할 수 있는 시스템으로써 승객의 요구에 따른 스케줄과 궤도를 따라 운행되고 수송용량은 대략 차량당 2~20명을 처리할 수 있는 교통수단으로 정의되며, 다음과 같은 기술적 특징이 있다.

1) 자동차: 1.9mj, 버스: 1.2mj, 철도: 1.3mj, PRT: 0.5mj의 에너지 소비로 철도에 비해 2.6배의 에너지 소비 감소효과가 예상됨(mj: MJoule Per Passenger Per Kilometre 1j=1W·s) [출처 : Frost&Sullivan 영국].

- 완전무인자동운전인 궤도차량
- 24시간 이용할 수 있으며, 혼자 혹은 소규모 그룹으로 독립된 이용이 가능한 소형차량
- 고가, 지상, 지하에 건설할 수 있는 소형 궤도
- 복선화된 네트워크에서 모든 궤도와 역을 이용할 수 있는 차량
- 출발지에서 목적지까지 환승 없는 논스톱 운행
- 고정된 스케줄보다는 수요에 따라 서비스를 공급하는 시스템



<그림 1.1.2> PRT시스템의 특징

환경 및 적용기술들이 복잡해짐에 따라 단순한 제작 및 유지보수를 위한 차량위주의 기술보다는 시스템 측면에서 운행과 관련한 네트워크운행제어의 핵심원천기술을 확보하고 운행의 신뢰성을 갖출 수 있도록 체계적인 기술의 확보가 필요하다.

PRT 시스템 운행제어 시스템은 개별 차량의 Local 운행(역 진입, 분기부 통과, 차량간격 제어 등)과 관련한 제어계층인 차량 운행제어 계층과 전체 차량의 전 노선 운행(최적경로 설정, 차량 관리 등)과 관련한 제어계층인 네트워크 운행제어 계층으로 된다. 차량 관련 기술은 현재의 기술 성숙도로 보아 어려움이 있겠지만 궁극적으로 완성에 도달할 것으로 보이나, 네트워크 형태의 노선에서의 운영 및 운행제어관련 기술은 앞으로 전 세계적으로 더욱 더 기술개발이 필요한 분야임이 중론이다.

제2절 연구개발의 중요성

도쿄의정서 발효 후 이산화탄소량의 배출기준을 엄격히 강화하는 등 친환경성의 강조와 경제성 및 교통약자에 대한 교통편의 시설의 확대 공급, 시스템 안전성확보 등에 대해 사회·문화적으로 적용기준이 강화되고 있는 실정이다. 다양한 도시통행 행태 중에서 단위지역 내 많지 않은 수요가 지속적이면서 분산적인 형태를 보이는 경우, 대규모 수송수단인 기존의 도시철도나 버스로 이를 수용하기에는 비효율적이며, 5km 내외의 비교적 단거리통행에는 승용차가 많이 이용되며, 이는 교통네트워크상 결절점(Node)에서의 교통체증으로 인한 Gridlock 현상이 발생, 네트워크 전체의 교통 혼잡으로 이어진다. 대중교통수단인 철도는 간선에서의 고속화와 도심지역의 접근성 향상(Door to Door)이 화두이며, 이러한 여건에 적합하도록 맞춤형 서비스가 가능한 승객 여정선택형(Journey on Demand) 대중교통수단의 개발이 필요하다.

PRT 시스템은 기존 교통수단의 단점을 보완하면서 도시권역의 교통 혼잡과 사고, 환경오염에 따른 문제 완화가 가능한, 기존의 Mass-transit 개념에서 벗어나 Para-transit 개념에 가까운 새로운 개념의 대중교통수단이다. 산업계에서는 신교통수단인 PRT 시스템의 기술개발을 위한 투자 의지와 사업 환경이 조성되어 있는 반면, 기술개발의 구체적인 방향 지표 제시가 미흡한 상태이므로 정부차원의 체계적이고 신속한 기술개발 방향 제시가 절실한 실정이다. 특히, 환경 및 적용기술들이 복잡해짐에 따라 단순한 제작 및 유지보수를 위한 차량위주의 기술보다는 시스템 측면에서 운행과 관련한 기술(차량제어/신호통신 등) 및 소프트웨어/하드웨어 통합기술 등의 핵심기술을 확보하고 운행의 신뢰성을 갖출 수 있도록 체계적인 기술 확보가 필요한 시점이다.

현재 선진국들은 21세기 성장전략산업으로 철도분야를 설정하고 차세대 기술을 선점하기 위해 국가적인 지원과 개발이 진행되고 있으며, 핵심기술에 기반을 세우는데 전력중이다. UAE의 두바이와 아부다비, 스웨덴 스톡홀름과 알란다공항, 영국의 다벤트리 등 유럽, 중동을 중심으로 PRT시장이 널리 확산될 전망이며, 영국의 ULTra PRT社(舊 ATS)는 PRT 개발의 선두주자로서 세계최초 상용노선 개통을 앞두고 있는 상황에서 전 세계의 잠재적 PRT시장을 석권할 것으로 예상 된다[2].

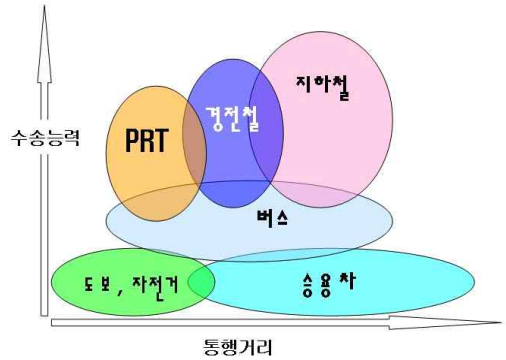
2) Heathrow 공항의 제5터미널에 3.9km, 21대의 차량의 ULTra 시스템이 건설·운영중(2011년 5월)

제3절 연구내용 및 범위

PRT 시스템은 역간거리가 300m 이내의 소형으로서 국가교통DB상의 Zone체계를 그대로 수용하여 수요예측을 수행하기는 곤란하므로 노선대 및 역사 주변의 Zone 체계를 더욱 세분화하여 OD(Origin-Destination)를 구축하여야 하며, 수요추정모형 또한 기존 시스템과는 차별화된 별도의 추정모형을 구축하는 등의 기술구현이 필요하다. 시스템은 운영패턴 즉 노선연장, 승객 수, 운행모드(요구모드, 스케쥴모드, 합승허용여부 등) 등의 운행시나리오에 따라 운영비용의 변동폭이 상당히 클 것으로 판단되므로 기존 시스템과 차별화된 운행시나리오에 따른 운영비용 추정모형의 구축이 필요하다. 이를 위해 국내 실정에 적합한 운영환경을 도출하기 위한 수요조사와 관련하여 인구규모, 토지이용규모, 통행량, 가로망 체계(방사형, 격자형 등), 차로 폭원 및 지장물(육교, 지하차도의 높이제한) 등을 기초로 도입가능 지역의 분석이 필요하다. 아울러 특정지역(송도, 상암)을 대상으로 운영시나리오도출 및 그에 따른 경제성 평가 지원을 위해 SP조사를 통해 PRT 수요분담모형을 제공, 기술적 사항, 비용, 차량 소요량 수 등을 지원하는 것이다. 구체적으로 시뮬레이션을 통해 운영가능성을 검증하는 것으로 목표로 하는 것으로 다음과 같다.

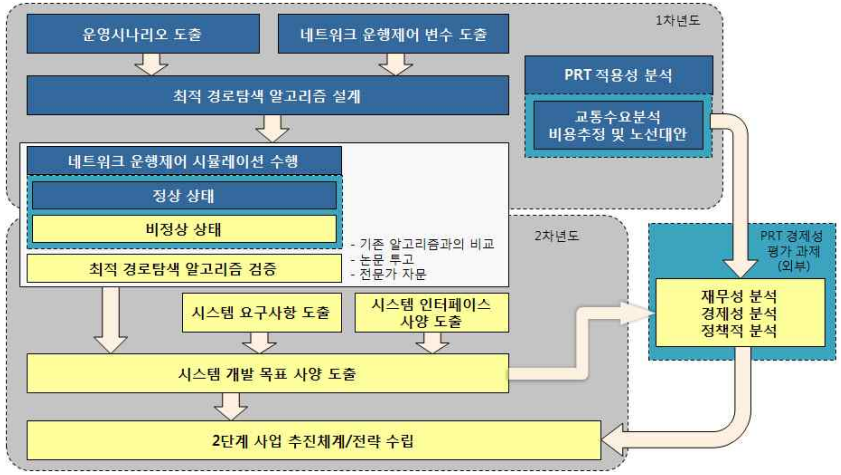
- 기존 도심 및 신도심 등에 있어서 지역계획 수립시 단위지역의 분산된 통행수요를 흡수하는 새로운 교통네트워크 수단인 승객여정선택형(On-demand journey) 대중교통수단의 운영 가능성 검증

- 기존 대중교통수단인 일반철도, 도시철도, 경량전철, 버스 등과의 교통수단 역할 구분에 따른 통행거리 및 OD에 따른 역간거리를 고려하여 적합한 네트워크의 규모를 선정하여 운영 가능성을 시뮬레이션을 통하여 검증(예를 들어, 총연장을 12km로 가정하고 역간거리를 300m로 가정하였을 경우, 4×4 loop 네트워크 규모의 시뮬레이션 필요)한다.



<그림 1.3.1> 대중교통수단으로서 PRT의 위치

시스템 개념 정립후 하부시스템에 대한 검토 후 기획을 수행하는 내용으로 향후 후속 연구과제의 실용화 및 상용화 운영 모델의 제시하기 위하여 시스템 요구사항 및 인터페이스 사양(안) 도출과 2단계 사업(시스템 구축) 기술개발 전략 수립을 하는 것이다. 아래 그림은 전체 연구의 범위를 도식적으로 나타낸 것이다.



<그림 1.3.2> 연구범위의 도식화 내용

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내기술 동향

1. 국내 시스템

가. SKYCAR

1992년 우보엔지니어링은 교통도시개발연구원을 설립하면서 PRT에 관한 연구를 시작하였다. 해당 연구원은 1997년 PRT코리아라는 회사로 분사하게 되었고 미국의 Raytheon社와 기술제휴를 시작하였다. Raytheon社는 1993년 TAXI2000社로부터 TAXI 2000 시스템을 사들여 PRT2000 시스템으로 개선하였다. 하지만 1999년 Raytheon社가 시장에서 철수하면서 TAXI2000社는 자신의 시스템을 재 구입하게 하였다. 따라서 PRT 코리아가 개발한 SKYCAR 시스템은 TAXI 2000과 주행궤도와 가이드라인을 제외하면 매우 유사하다.

포항공대에 SKYCAR 시스템의 개념구현을 위한 테스트 트랙이 제작되었고 단일노선에서 차량제어 가능성이 증명되었다. SKYCAR 시스템의 3인차량(폭: 1.8m 높이: 1.5m 길이: 3m)은 U자형의 가이드라인을 45~60km/h로 운행할 수 있다. 최소 시격은 0.5초이며 최대용량은 시간당 7,200대, 평균용량은 6,000대, 최대 승객용량은 시간당 18,000명이며, 평균 승객용량은 9,000명을 목표로 하였으나, 현재는 개발진행이 보류된 상태이다.



<그림 2.1.1> SKYCAR의 차량과 테스트 트랙

<표 2.1.1> SKYCAR 개발 목표 사양

차량규격		차량성능		운전조건	
길이	2.32m	가속도	0.3g	운행시격	0.5초
폭	1.57m	감속도	0.3g	노선상 평균 운행량	6,000대/시간
높이	1.62m	비상감속도	10㎳	평균승차인원	1.5명/대
중량(빈차)	1,100㎏	운행속도	45~60㎞/h	수송용량	10,000명/시간
중량(만차)	1,400㎏	최소회전반경	16m		
좌석	4개	최대구배	15%		

나. VECTUS

포스코는 2002년부터 PRT에 관한 연구를 시작하였고 2005년 영국에 VECTUS라는 자회사를 설립한다. 스웨덴과 한국에 지사를 갖고 있는 VECTUS는 세계시장 진출을 모색하고 있기 때문에 추운 날씨의 스웨덴에 테스트 트랙을 설치하였다. 300m길이의 강철 트랙은 오프라인 시스템이며 3대의 차량이 운행된다. 차량은 선형모터와 폴리우레탄 바퀴를 이용한다.

2013년 개최되는 순천만정원박람회에 습지 접근형으로 VECTUS의 시스템이 도입될 예정이며, 610억 규모의 Vectus 시스템은 5.3km, 정거장 2개소, 고가구조물 및 운영관리동 1개소의 복선구조로 셔틀개념의 시스템이다.



<그림 2.1.2> VECTUS의 차량과 테스트 트랙

<표 2.1.2> VECTUS PRT 세부 사양

차량규격		차량성능		운전조건	
길이	3.5m	최대가속도	2.5m/s^2	운행시격	2.5sec
폭	1.5m	비상시 감속	0.5g	노선상 평균 운행량	4,800~5760대/시간
높이	2.0m	최대 저크	2.5m/s^3	최대구배	10%
중량(만차)	1,200㎏	운행속도	60㎞/hr	최소회전반경	5m

2. 국내 시스템 설치·검토 현황

가. 순천만정원박람회

국내 개발사인 Vectus社에 의해 습지접근교통수단(단순 shuttle 형태)으로 사업 추진을 위해 순천시와 POSCO간 양해각서(MOU) 체결하였다. 5.3km의 길이, 역사 2개(운영관리동 1개), 복선구조로 2013년 개통을 목표로 한다(민간예산 610억).

<표 2.1.3> 순천만 정원박람회 PRT 개요

항목	내 용
노 선 길 이	9.6 km
정 류 장 수	7 개소
차 량 기 지	1 개소
차 량 수	40 대

나. 여수세계박람회

국내 개발사인 (주)Skycar에 의해 여수EXPO박람회장과 주변시설과의 연계교통수단으로 제안되었으나, 제반여건 및 시스템의 검증이 부족하여 답보 상태이다.

<표 2.1.4> 여수EXPO PRT 시스템 설치사업 개요

항목	내 용
노 선 길 이	4 km
정 류 장 수	7 개소
차 량 기 지	1 개소
차 량 수	70 대

다. 국립과천과학관

서울랜드 및 서울대공원 지역의 순환교통수단으로 검토가 요청되었으나, 타당성 및 예산확보 방안이 우선적으로 강구되어야 한다.

<표 2.1.5> 국립과천과학관 PRT 시스템 설치사업 개요

항목	내 용
노 선 길 이	22 km
정 류 장 수	21 개소
차 량 기 지	1 개소
차 량 수	660 대

라. 설악산

KRRI와 강원도청간의 MOU체결의 일환으로 설악산 매표소와 주차장간 연계교통수단으로 검토되었으나, 제반여건 및 시스템의 검증이 부족하여 답보 상태이다.

<표 2.1.6> 설악산 PRT 시스템 설치사업 개요

항목	내 용
노 선 길 이	10.5 km
정 류 장 수	11 개소
차 량 기 지	1 개소
차 량 수	147 대

마. 인천영종도 운북지구

LIPPO 인천개발(주)와 국내개발사인 (주)Skycar간 운북복합레저단지내 순환교통수단으로 제안 및 협의중 시스템 검증의 미비로 인하여 사업진행이 지연중이다.

<표 2.1.7> 운북지구 PRT 시스템 설치사업 개요

항목	내 용
노 선 길 이	15.5 km
정 류 장 수	20 개소
차 량 기 지	1 개소
차 량 수	225 대

바. 평창동계올림픽 추진지역

KRRI와 강원도청간의 MOU체결의 일환으로 올림픽 개최지역내 순환교통수단으로 검토되었으나, 개최지 선정 및 시스템 검증의 문제로 답보 상태이다.

<표 2.1.8> 평창 PRT 시스템 설치사업 개요

항목	내 용
노 선 길 이	15 km
정 류 장 수	12 개소
차 량 기 지	1 개소
차 량 수	300 대

사. 강릉시

강릉시에서 녹색도시지정에 따라 적극적인 도입 의지를 표명하고 있지만, 예산 해결 방안을 강구중이다.

<표 2.1.9> 강릉시 PRT 시스템 설치사업 개요

항목	내 용
노 선 길 이	22.5 km
정 류 장 수	10 개소
차 량 기 지	1 개소
차 량 수	440 대

아. 서울(여의도-용산)

여의도-용산간 연계교통수단으로 서영 엔지니어링에서 교통수단의 일환으로 기초적인 검토가 진행중이다.

제2절 국외기술 동향

1. 국외 시스템

가. Dashaveyor

Dashaveyor社에 의하여 개발된 Dashaveyor 시스템은 팔레트를 이용한 화물 이송 시스템이었다. 화물을 대상으로 하였기에 역 사이를 고속으로 이동하며 수직상승도 가능하였다. 이 시스템을 통하여 여러 개별 유인차량은 열차와 같이 개별차량이 결합된 하나의 무인차량으로 대체되어 광산에서 이용되었다. Bendix社는 Dashaveyor社로부터 권리를 사들여 그들의 AGT(Automated Guideway Transit) 시스템에 이용하였다. Bendix社는 승객수송용으로 Dashaveyor 시스템을 개조하여 토론토 동물원에 5km 거리로 설치하였다. 하지만 유지보수의 부족으로 인한 사고로 인하여 1994년 시스템은 중단되었다.



<그림 2.2.1> Dashaveyor 시스템

나. ROMAG

ROMAG는 Rohr社에 의하여 제작된 PRT 시스템이다. 회전모터대신 선형모터를 사용한 것이 특징이며 Vero社의 Monocab을 개량한 것이다. Rohr社는 1971년 테스트 가이드웨이를 캘리포니아에 설치하였다. 하지만 ROMAG는 경쟁시스템인 Krauss-Maffei Transurban에 밀려 토론토의 GO-Urban 프로젝트에 채택되지 못하였고 라스베이거스에 설치하는 것이 검토되었으나 자금부족으로 인하여 실패하였다. 이후 Rohr社의 재정 어려

움으로 인하여 Boeing Vertol社가 ROMAG를 사들였으나 더 이상의 개발은 이루어지지 않았다.



<그림 2.2.2> ROMAG 시스템

다. Alden staRRcar

William Alden에 의한 Alden staRRcar는 구간별로 유인운전과 무인운전이 이루어지는 Dual mode 시스템이었다. 가이드웨이에 의하여 전력을 공급받으며 저속으로 이동하며 낮은 안전기준을 요구하기에 Alden staRRcar는 소형, 경량화 시스템이었다(4인 승객). Alden staRRcar는 Morgantown의 PRT 시스템으로 선정되었지만 작은 회사규모에 대한 염려로 Boeing Vertol이 Alden staRRcar를 대체하게 된다. 또한 4인 승객에서 20인 승객으로 설계가 변화되면서 차량의 크기가 증가하였다. 이는 전체 시스템 비용의 증가를 의미하며 오랫동안 PRT의 관심이 줄어든 이유가 되었다.



<그림 2.2.3> Alden staRRcar 차량

라. Morgantown's GRT

Morgantown은 WVU(West Virginia University)의 학생들을 포함하여 58,000명이 거주하는 작은 도시이다. 산과 강으로 인한 도로건설에 제한적 지형구조이기 때문에 모든 차량이 집중되는 시내는 극심한 혼잡이 발생하였다.

1960년대 후반 Samy Elias 교수는 건설과 운영비용이 가장 저렴한 PRT 시스템을 강조하였으며, Monocab, Dashaveyor, Alden staRRcar 시스템을 비교하였고 Morgantown에 가장 적합한 시스템으로 Alden staRRcar 시스템을 선택하였다. 당시 대통령이던 닉슨은 다음 선거를 준비하는 과정이었기 때문에 Morgantown의 PRT 시스템을 강하게 지지하였다. Alden staRRcar의 기업규모가 영세하다고 생각하였기 때문에 차량을 생산하는 기업에 Boeing Vertol, 제어를 담당하는 기업에 Bendix, 시스템을 담당하는 기업에 Jet Propulsion Lab이 선택되었다.

PRT 시스템의 완공할 때까지 초기 예산의 4배에 해당하는 자금이 투입되었다. 이는 많은 사람들이 PRT에 대한 관심을 잃어버린 가장 큰 이유이다. 하지만 건설비에 많은 자금이 유입된 것은 PRT의 기술적 요인보다는 정치적 요인이 컸다. 다음 선거전에 유권자들에게 성과를 보여줘야 했던 닉슨은 PRT 시스템의 빠른 설치를 요구하였고 그 결과 PRT 시스템은 관련분야에 대한 기술조사없이 바로 개발되어 다음 해 완성되었다. 차량 크기의 변화도 건설비용 증가의 중요한 이유이다. 선택된 Alden staRRcar는 4인 차량이었지만 프로젝트 종료 후 20인 차량으로 변화한 것도 건설비용이 증가한 이유 중 하나이다. 그럼에도 Morgantown의 GRT는 승객에게 매력적인 시스템이다. 건설된 이후로 대대적인 확장공사 기간을 제외하고는 승객들에게 안전한 정시운행 서비스를 지속적으로 제공하고 있다. 그 결과 지금도 인구 58000명의 주민 중 16000명이 매일 이용하고 있으며 Morgantown의 시장은 미국에서 Morgantown의 실업률이 가장 낮게 된 중요한 이유가 PRT라고 언급하였다.

Morgantown의 PRT는 현재 9,300만 달러의 자금을 조성하여 Bombardier社 등과 함께 낡은 차체를 교환하고 아날로그 시스템을 디지털 시스템으로 변환하는 작업을 진행 중이다.



<그림 2.2.4> Morgantown의 GRT 시스템

마. ULTra PRT

Morgantown의 GRT 시스템의 설치 후 비용을 줄일 수 있는 충전배터리, 차상 조향장치 등의 다양한 기술이 개발되었다. 이러한 기술의 개발로 인하여 차량들은 더 이상 가이드웨이와 강한 기계적인 결합을 할 필요가 없게 되어 시스템은 단순화 되었다. 충전배터리의 사용은 가이드웨이와 역의 구조를 단순화, 경량화시켰으며 콘크리트 재질의 단순한 방벽구조의 가이드웨이의 이용으로 전철기(switch)는 더 이상 필요하지 않게 되었다. 또한 시스템의 구성에 기성제품이 적극 사용되었다. 그 결과 ULTra 시스템의 건설비용은 기존과 비교하여 크게 줄어들었다.[3)]

ULTra의 전기차량은 4개의 좌석을 갖고 있으며 500kg까지 적재할 수 있다.[4)] 또한 20%의 구배에서 40km/h로 이동할 수 있다.[5)] 배터리는 2Kw의 전력을 공급하며 차량 총 중량의 8%를 차지한다. 그리고 5m의 회전반경과 저소음 시스템을 갖고 있다.

2011년 5월 Heathrow 공항의 5번 터미널에 3.9km, 21대 차량으로 ULTra 시스템이 설치 운영되고 있으며, 시범운행이 성공적이면 시스템이 확대되어 400대의 차량을 이용하여 승객을 근처의 호텔까지 수송할 것이다.

2010년 3월 인도의 Gurgaon시에 ULTra 시스템을 도입될 것이란 발표가 있었다. 10개에서 12개의 노선을 구축할 예정이며, 가이드웨이의 총 길이는 대략 45.5 km가 될 것이다. 또한 인도의 Amritsar에 7km의 시스템이 2011년 시작될 예정이며 San Jose와 Daventry도 ULTra 시스템 도입을 검토하고 있다.

3) 2008년을 기준으로 할 경우 Morgantown의 시스템은 km당 2800만달러의 건설비가 지출되었지만 ULTra는 500만에서 800만 달러의 건설비면 충분할 것으로 예상
4) 승객 일인당 1 km당 0.55 mega joule 소모 예상
5) 승객의 안락을 위하여 구배는 10%로 제한



<그림 2.2.5> Heathrow 공항의 ULTra 시스템

바. Critical Move

2001년 시작된 유럽의 CyberMove 프로젝트는 2004년 종료되었으며, 프로젝트의 종료 무렵 Instituto Pedro Nunes가 Cyber car를 개발하게 되었고 포르트갈의 Critical 그룹이 이를 인수하여 MOVE 라는 차량을 개발 중이다. 전기와 태양에너지를 함께 사용하는 Move는 가이드웨이를 이용하지 않는다. 대신 전용도로를 달리면서 레이저(Laser)와 음파탐지기(Sonar)를 이용하여 충돌을 회피한다.



<그림 2.2.6> Critical MOVE의 시스템

사. 2getthere

2getthere社는 2002년 Floriade 행사를 시작으로 PRT에 관심을 갖게 되었으며, 기존의 차량 제어시스템인 FROG를 이용하면서 차량의 자동화 가능성과 PRT 전용기술의 필요성을 확인하였다. 또한, 동일한 역에서 출발하여 다양한 역에 승객을 내려주는 환승, 네트워

크의 용량을 극대화하기 위하여 공차운행을 줄이기 위한 스케쥴 운영(Scheduled Operation)이 필요되어짐에 따라 러시아워 시간에는 스케쥴 운영을 실행하며, 이 외의 시간에는 수요에 따른 운영(On Demand Operation)을 실행한다.

2getthere의 PRT 시스템은 차량의 병합과 주차과정에서 동기제어를 허락한다. 해당 시스템은 다수의 승차장(berth)을 보유하여 역에서 차량이 동시에 출발하도록 설계하였다. CyberCab이라 불리는 차량은 성인 4명과 아이 2명을 태울 수 있으며 화물수납을 위한 별도의 공간이 있다. 차량의 폭이 1.45m 밖에 안 되기 때문에 좁은 트랙을 사용하며 할 수 있으며, 차량의 최대 속도는 40km/h이다. 본 시스템은 마스다르에 1.2km, 역사 2개(승객용 : 10량, 화물용 : 3량)의 규모로 2011년 5월 현재 상업운전 중이며 도심과 확장 연계를 통하여 역사 85 개, 차량, 3000량 규모로 확장계획을 갖고 있다.



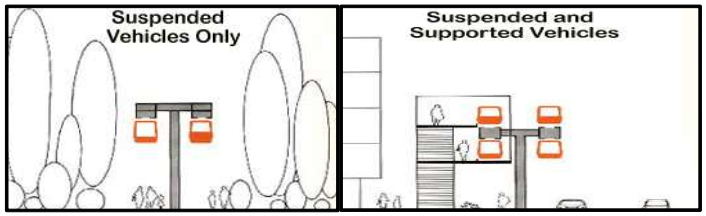
<그림 2.2.7> CyberCab

아. CabinTaxi

MBB(Messerschmitt-Bolkow-Blohm)과 Demag의 합병벤처회사인 Cabintaxi는 독일 Hagen에 시험선을 건설하여 1973년~1979년까지 40만 mile 이상의 시험선을 운행하였다. 1969년에 Demag와 MBB는 독립적으로 8년 동안 Cabintaxi/Cabinlift를 이끌었던 설계를 시작하였으며, 독일정부는 양쪽회사들을 합병펀드프로그램의 활동에 참여시켜 수출경쟁력을 가진 대중교통기술을 개발하는데 목적을 두었다. 각 구성요소에 관한 시스템 정의와 연구실 시험은 1969년에 시작되었고, 1973년 8월 Hagen 부근에 완성된 설비는 150m 복선궤도(현수식, 과좌식), 합류점으로 구성되었다. 1974년 9월까지 트랙은 두 개의 폐쇄 루프로 1,136m까지 확장되어 5대는 상부에서 2대는 하부에서 주행하였다. 1975년에 시험설비는 3개의 역과 완전 자동화된 9대의 차량을 보유하였으며, 1975년 9월에 12인용 차량이 시험운

행을 위해 도입되었고, 1976년 시험설비는 1.9km의 궤도로 구축되어 6개 역과 24개의 운영 차량을 1979년까지 운행하였다. 독일 정부는 PRT 시스템 개발을 성공적으로 종료하고 도시 내에 설치 예정이었으나, 1979년에 Hamburg에 적용하려던 사업이 예산상의 이유로 무산되었다.

비동기식의 CabinTaxi는 수요가 있을 때 마다 이용할 수 있는 작고 편안한 차량, 환승과 중간역 정차 없이 출발지에서 목적지까지 운행, 30km/h 이상의 속력, 고가 궤도 사용으로 타 수단과의 통행 분리, 시스템의 완전 자동화, 10초 이하의 시격 및 차량이탈을 제어 할 수 있는 선형유도추진방식, 낮은 소음과 공기 오염이 전혀 없다는 특징이 있다. 또한, Cabintaxi는 궤도 하부에 매달려 주행하는 것 뿐 아니라, 궤도 상부에서 승차한다는 점에서 매우 독특하다. 박스형 거더(Girder)는 현수식과 과좌식 차량을 유도 및 지지한다.



<그림 2.2.8> CabinTaxi 구조물

<표 2.2.1> CabinTaxi 특징

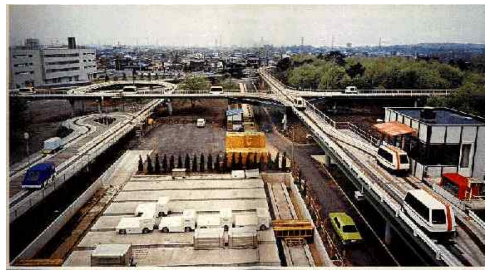
구 분	내 용
역	- Off-line역, 역간거리 0.3~0.8km
차량	- 승객차량(3, 6, 9, 12, 18, 24인용), 화물차량
추진 방식	- 리니어모터 - 박스형 거더 레일
속도	- 36km/h
시격	- 2.5초(시험운행에서는 0.5초까지 가능하지만 제동력 등의 운행요건으로 인해 2.5초 필요)
운영	- 궤도의 20%를 채웠을 때 240량/시간, 720 좌석/시간(3인용), 2,880 좌석/시간 (12인용) - 궤도의 80%를 채웠을 때 2,880량/시간, 8,640좌석/시간(3인용), 34,560 좌석/시간 (12인용)
제동	- 긴급시에는 7m의 제동이 가능함 - 결빙에서는 "Brickwall"이라고 불리는 정지조건이 필요함

자. Cabtrack

영국의 Cabtrack 시스템은 L.R Blake에 의해 처음 개발 되었고 Blake는 미국에서 몇 개의 교통시스템에 대한 조사에 착수하였으며, 1967년에 사설을 통해 영국 도시에 적합한 시스템을 찾았다고 발표하였으며, 이 시스템을 'Autotaxi'라고 명칭하였다. The Royal Aircraft Establishment는 정부조직에 의해 기술적인 개발과 확장된 수요, 분석층까지 PRT 시스템의 포괄적인 연구를 실시한 첫 번째 작업이었다. 1972년 초 영국의 선거가 있었고 환경부 장관이 새로 선출되면서 Cabtrack 프로그램은 중단되었다. British Cabtrack 프로그램은 방법적인 면이나 결과면에서 고용량의 PRT 시스템에 관한 개발 프로그램이었고 여전히 높은 평가를 받고 있다.

차. CVS

CVS는 1968년 초 일본에서 개발된 것으로 4명의 승객을 수송할 수 있는 컴퓨터제어 차량시스템이다. 그러나 CVS 프로그램은 크기와 비용, 1.8m의 깊이에 3m의 궤도폭, 개략적인 수요, 다양한 승강대 등으로 인한 적정 용량을 얻는 문제에 대한 이해의 부족 등으로 자체적인 결함이 많았다. 후에 궤도의 최적화에 대한 필요성을 깨달았지만, 시장의 수요부족과 비우호적인 결과들로 인해 결국 자체 결함을 극복하지 못하였다.



<그림 2.2.9> CVS 시스템

카. PRT2000(Taxi2000)

Raytheon社의 PRT2000은 비용을 줄이고 서비스를 증가시키기 위해 지난 수 십년 동안 도시교통문제를 해결하기 위해 새로운 시스템을 도입하고자 한 각 분야 연구결과의 총체라

할 수 있다. 전용 궤도(exclusive way)를 이용하여 평균속도를 향상시켰으며 비용을 절감시켰다.[6] 모든 역에 대피선이 있어 중간정차가 필요 없으며, 이로 인해 평균속도가 최대가 되기 때문에 편성비용이 최소화 되었으며, 이용 승객 수를 늘리기 위하여 출발역과 도착역 사이를 무정차로 운행하였다.

수요에 따라 운영을 변경하였고 오프라인 역을 이용하여 공차를 차량이 부족한 역으로 이동시켰다. 당시에는 신기술이었던 전기모터 추진방식과 마이크로프로세서 제어, 고압타이어, 경량차량을 이용하여 환경 친화적 운행을 추구하였다.



<그림 2.2.10> PRT2000 시스템

Taxi2000社는 PRT2000에게 시스템을 재구입한 후 이를 개선하면서 명칭을 Skyweb Express로 변경하였다. Skyweb Express의 차량은 객실과 궤도와의 인터페이스와 차량추진을 위한 대차의 중요한 두 가지 요소로 구성된다.

일반적으로 역은 교차로 사이에 존재하며, 차량의 속도는 48km/h이며, 약 107m의 오프라인 가이드웨이를 사용하였다. 역간 거리는 가변적이며 대기시간의 감소로 인하여 역의 크기가 감소될 수 있었다. 승객들은 ATM기계를 통하여 승차권을 구입하며, 역의 크기에 대한 지역주민의 요구가 있을 경우를 제외하고는 대부분의 역은 승하차를 위한 3개의 승차장(berth)으로 구성되었다. 역은 본선과 일치할 수 있도록 동일 높이의 플랫폼을 이용하며, PRT만을 위한 지지대로 지탱이 되거나, 기존 도시구조물을 이용하여 지탱할 수 있다.

6) 용량 당 차량비용은 차량크기와 무관하기 때문에 편성 비용은 차량크기에 관계없이 평균속도가 최대화된다면 최소화가 됨.

<표 2.2.2> Skyweb Express 운영현황

구 분	내 용
노 선 용 량	7,200 대/시
차량 headway	0.5 초
운 행 속 도	32~80 km/h
역 용 량	2,000 대/시
승객대기시간	- 비첨두: 대기시간이 거의 없음 - 첨두: 승객의 70%이상이 30초 이내 승객의 90%이상이 2분 이내
에너지효율	- 145watt/h (차량속도 72 km/h 일 때)
구 배	15 %
기 타	- 폭우, 폭설과 같은 악천후에서도 운행가능 - 장애인, 노약자를 위한 설계

타. MISTER

폴란드에서 개발된 MISTER(Metropolitan Individual System of Transportation on an Elevated Rail)는 지상 6m 이상에서 동작하는 PRT 시스템이다. MISTER는 50km/h의 속도로 이동시 10m의 차량간격을 유지하면서 방향전환을 할 수 있으며 가이드웨이는 트러스 구조이다. 트러스 구조와 함께 가이드웨이에서 전력을 공급받기 때문에 차량이 경량 화될 수 있다는 점, 역의 크기를 최소화 할 수 있다는 점이 MISTER의 장점이다. 하지만 공기역학을 고려하지 않고 차량을 설계하였다는 것이 단점으로 지적된다. 개발자는 가이드웨이에서 벗어나 승객을 목적지까지 수송할 수 있는 듀얼모드를 계획하고 있다.

폴란드의 두 도시인 Opole와 Rzeszow가 MISTER를 도입하기로 하였으나 시스템 구입비용 대신 운임징수권을 수여하여 협상이 결렬되었으며 마스다르시에서의 경쟁에서는 패배하였다. 뉴질랜드의 Auckland airport에서 MISTER를 검토중이다.



<그림 2.2.11> MISTER 시스템

파. JPods

JPods는 폴을 이용한 와이어에 차량이 매달려 이동하는 PRT 시스템이다. JPods의 차량은 와이어에 매달려 이동하기 때문에 7.62m의 간격을 유지하기만 하면 차량의 크기는 달라도 된다. 차량의 상단부에서 와이어와 연결된 두 개의 구동대차(Drive Bogie)라는 장치가 차량의 추진과 방향전환을 담당한다(Drive Bogie는 직류전동기를 이용한다). JPods는 200kg이 조금 넘는 가벼운 차량을 이용하며 건설비를 절약하기 위하여 기성 제품들을 이용한다.



<그림 2.2.12> JPods 시스템

하. SkyCab

스웨덴의 SkyCab은 36km/h의 속도로 움직일 경우 2500 D(Passengers Per Hour Per Direction)의 수송용량을 갖는다. 4명의 승객을 태울 수 있는 SkyCab은 지상 4m 위에

있는 가이드웨이에서 65km/h까지 속력을 낼 수 있다. 또한 SkyCab은 구역에 따라 비동기방식과 동기방식이 혼합된 포인트 동기(Point-Synchronous)방식을 이용하여 시스템은 복잡하지만 두 방식의 모든 장점을 이용하고자 한다. 최대 구배는 10%이며 최소 20m의 회전 반경을 갖는다. 다른 PRT 시스템에 비교할 경우 SkyCab은 대형 시스템이다. Sigtuna 프로젝트의 경우 82km의 노선과 87개의 역과 600개의 차량, Linköping 프로젝트의 경우는 82km의 노선과 79개의 역과 700개의 차량으로 구성되었다.

2. 국외 시스템 설치·검토 현황

가. Morgantown(미국)

Morgantown의 PRT 시스템은 1970년대 개발되어 미국 Morgantown의 West Virginia 대학에 건설하였으며, 차량의 수송인원은 21명이었다. 30년 이상 운영되고 있으며, 도시와 대학캠퍼스를 연계하는 노선으로, PRT(Personal Rapid Transit) 때로는 GRT(Group Rapid Transit) 개념을 사용하고 있다. 현재 노후화되어 합선과 같은 경미한 사고가 자주 발생하고 있어서 차량운행이 종종 지연되고 있다. 하지만 안전에 관련된 시스템으로 인하여 큰 사고는 발생하지 않고 있으며 정부의 지원을 받아 최신기기로 변경하는 것을 시작하였다.

나. Heathrow 공항(영국)

영국공항공사(BAA: British Airports Authority)에서 운영하는 Heathrow 공항에 ULTra PRT社의 ULTra(Urban Light Transport) 시스템을 현재(2011년 5월) 운영 중에 있다. 런던 Heathrow공항 터미널 5와 주차장(N3 Business Car Park내 2개 역사)간의 연계교통수단(향후 터미널 1/2/3으로 확장예정)이며 양방향 궤도형태로 1.9km(약 5~6분)를 운행한다.

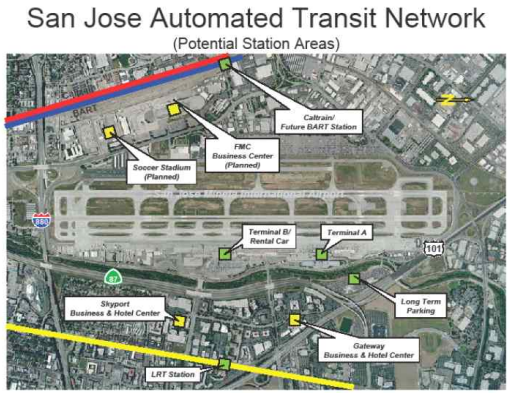
다. Masdar시(UAE)

해당지역을 태양광, 지열, 풍력 등을 활용한 친환경 생태도시 개발 중 이며 도심 내부에 화석연료차량의 운행을 금지하고 PRT 도입하여 시범적으로 운영 중이다. 사업자는 ADFEC(Abu Dhabi Future Energy Company)이며, 네덜란드의 2getthere社가 프로젝

트를 수주하였다. 1.2km(단방향)노선에서 차량 13대(승객용 10대, 화물 3대)와 5개역(승객역 2곳, 화물역 3곳) 규모로 시범사업으로 현재(2011년 5월) 운영중이며, 총 네트워크는 2021년 완공될 것이다. 향후 640만 평방미터 내에 총 70km의 네트워크에 2,000 대의 차량이 운행될 것이다.

라. San Jose 시(미국)

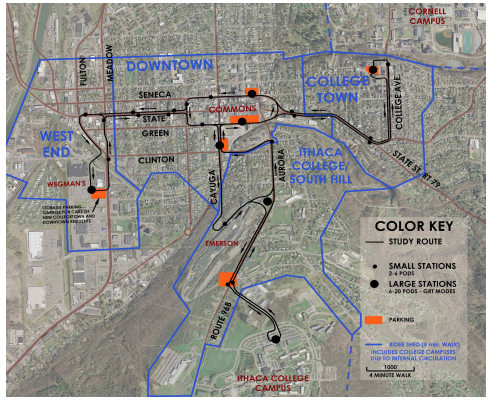
산호세市의 교통부(DOT) 주관으로 현재(2009.8.31) ATN 개발을 주관할 FFRDC(Federally Funded Research and Development Center)을 추진하기 위한 RFP가 공지되어 있는 상황이다. 산호세 Norman Y. Mineta 국제공항과 Santa Clara Caltrain(BART/ Metro/공항 경전철역)간의 연계교통수단을 계획하고 있으며 향후 확장될 예정이다.



<그림 2.2.13> 산호세 Norman Y.Mineta공항의 항의 PRT 예상역

마. Ithaca (미국)

Connect Ithaca LLC社와 C&S社가 공동으로 뉴욕주 에너지연구개발국(NYSERDA: New York State Energy Research & Development Authority)과 뉴욕주 교통국(NYSDOT: New York State Department of Transportation)으로 부터 PRT 도입 예비타당성 연구를 계약하였다. 12.2km의 노선 연장, 7곳의 대형역(승강장 6개), 12곳의 소형역(승강장 2개) 및 64개의 분기부로 시험선로 구축할 계획이다.



<그림 2.2.15> PRT 시험선로 예상노선도, Ithaca NY

바. Uppsala(스웨덴)

스웨덴 정부와 스웨덴 철도부의 지속가능, 고효율, 친환경 대체교통수단에 대한 투자에 대한 필요성이 인정되어 경제기반부(Minister of Infrastructure)에 의해 조사가 이루어졌다. 4곳의 지역이 (Uppsala-Boläanderna, Via Academica in Stockholm, Umeåa, Söodert äalje) 선정되어 2014년말 상업운영을 목표로 하여 투자 및 PRT 공급사에 대한 시장조사(Ernst & Young社)가 진행중이다.

PRT 시범 노선에 대하여 다음과 같은 최소 요구 조건이 주어졌다.

- 5km이상의 노선 연장(1/3 지표구간, 1/3 고가구간)
- 3개 이상의 역사, 20대 이상의 차량, 2곳 이상의 분기부, 5개 이상의 트랙
- 1개 이상의 차고

KTH Albano-Stockholm University와 Karolinska Institutet를 연결하는 시스템이 2014년 완성될 것이다.

사. Guarulhos City (브라질)

PRT에 대하여 국내 기업(Skycar社)에 관심을 표명하였으며, 가를로스 국제공항과 주변 역사 및 호텔간 연계 수단(12개 역)으로 노선 제안을 요청하였다.

아. 위노나 (미네소타)

미네소타의 Winona는 PRT 사업을 위하여 자금을 모집 중이다. 미네소타의 Winona는 PRT 사업을 위하여 자금을 모집 중이다. 2500만 달러의 자금 중 정부의 지원은 2000만 달러이며 테스트 트랙을 건설예정이다.

자. 과거 진행되었던 사업

(1) 켄터키주

1990대 후반부터 오하이호 강 주변의 도시 재개발이 착수됨에 따라 이 지역의 교통 혼잡 해소를 위해 신시내티, 코빙턴, 뉴포트를 연결하는 시스템으로서 PRT를 검토하고 있다. 3개 지역의 뉴타운개발사업 추진조직인 CLASC(Central Area Loop Study Committee)에서 사업 검토 중으로 총 20.5km 노선, 30개 정차 역으로 총 사업비의 50% 연방정부 지원 추진 중이며 시스템으로는 Taxi 2000이 적극적으로 사업 참여를 추진 중이다.

(2) 두바이

최근 서아시아지역의 상업, 무역, 금융의 중심지로 급성장하고 있는 아랍에미레이트연방의 두바이는 도시내 거점간 이동수단 마련을 위해 PRT 도입을 검토하여 왔고 2005년 10월에는 공식적으로 PRT 건설을 위한 입찰공모 계획을 발표하였다. 두바이 금융업무단지(Financial District)내 DIFC(Dubai International Financial Center) 시설 간 이동수단으로 활용될 예정이며 DIFC 시설은 계획 당시부터 이미 Transit 네트워크 건설을 위한 공간확보가 되어 있는 상태이다.

총 사업비 1억 달러로 예상되며 계획노선은 대상지역의 반경 1.2km 이내 총 5km 연장이며, 건물내에서는 무빙워크와 연계될 것이다. 두바이에 적용될 PRT시스템은 고온기후에 대한 내구성이 강하게 설계되어야 한다.

(3) 다벤트리(Daventry)

현재 2만명 인구의 다벤트리는 친환경 대중교통시스템을 확충하여 급속히 증가하는 승용차 통행을 억제하고 지역경제 활성화를 도모하고 있다. 4.8km노선에 4개 역사, 차량 25대 투입 계획 중이며 향후 총연장 50km에 48개 역사, 차량 500대로 확충될 것이다. 타당성 조사가 완료되었으며, PRT 시범사업(Pilot Track) RFP 배포 예정이다. 재원은 정부에서 조달 예정이며 최근 ULTra 시스템을 검토하고 있다.

(4) 코비(Corby)

지역 내 교통문제 해결과 관광자원 개발하고자 PRT 사업자를 선정을 위한 검토를 수행하고 있다. 초기운행 실적에 따라 차후 시스템을 확장할 것이다.

(5) 스톡홀롬

신개발 지역 내부 교통수단 확보와 지역 내 교통문제 해결고자 한다. 총 연장 9km, 9개 역사의 시스템을 계획중이다.

(6) 어바인

관광객 유치 및 지역경제 활성화 도모를 위하여 공원지역(Great Park)의 연계 교통수단으로서 LRT에서 선회되어 PRT를 선정하였다. 소규모 시범사업이며 신교통시스템 도입 확정이 발표되면서 주정부 예산을 확보중이다.

(7) 알메로

알메로시의 지역경제 활성화가 주목적이다. 소규모 시범사업이며 EDICT (Evaluation and Demonstration of Innovative City Transport)의 일환으로 타당성 검토중이나, 예산확보가 관건이다.

제3절 특허동향분석

1. 특허분석 개요

가. 분석 대상

본 분석에서는 승객여정선택형 대중교통(PRT)과 관련된 기술에 대해서 각국 및 주요 출원인 등의 특허동향을 살펴보고, 특허동향 수요社의 개발방향과 부합하는 주요 특허들을 위주로 권리범위 분석 등 심층 분석을 수행하였으며, 분석범위는 다음과 같다.

· 분석대상 국가 : 한국, 미국, 일본, 유럽

· 분석연도 :

- 각 국 1991년 ~ 현재까지(일본의 경우 한글번역 검색 및 영문초록 검색)

· 사용 Database : 본 분석을 위한 특허데이터 입수는 WIPS를 사용하였음

나. 특허검색 및 데이터 입수현황

<표 2.3.1> 검색식 및 분석건수

검색 D/B	검색식	국가	검색 건수
KIPRIS	(CL=[PRT+(Personal*rapid*transit)+(승객여정선택형)+소형궤도차량+소형궤도열차+소형궤도차+(도시교통*차세대승객운송시스템)+(개인대중교통)+(PRT*(차량+시스템+열차))+궤도차+궤도택시+((off*line*station)+(오프라인역)+최적경로+(Optimal*routing)+논스톱운행+(non*stop*movement))+(para*transit)+무인고속택시+개인형고속전철])+(TL=[PRT+(Personal*rapid*transit)+(승객여정선택형)+소형궤도차량+소형궤도열차+소형궤도차+(도시교통*차세대승객운송시스템)+(개인대중교통)+(PRT*(차량+시스템+열차))+궤도차+궤도택시+((off*line*station)+(오프라인역)+최적경로+(Optimal*routing)+논스톱운행+(non*stop*movement))+(para*transit)+무인고속택시+개인형고속전철]+AB=[PRT+(Personal*rapid*transit)+(승객여정선택형)+소형궤도차량+소형궤도열차+소형궤도차+(도시교통*차세대승객운송시스템)+(개인대중교통)+(PRT*(차량+시스템+열차))+궤	한국	2,762

검색 D/B	검색식	국가	검색 건수
	도차+궤도택시+((off*line*station)+(오프라인역)+최적경로+(Optimal*routing)+논스톱운행+(non*stop*movement))+(para*transit)+무인고속택시+개인형고속전철])		
Wips	(PRT or (Personal adj1 rapid adj1 transit) or (승객여정선택형) or 소형궤도차량 or 소형궤도열차 or 소형궤도차 or (도시교통 adj1 차세대승객운송시스템) or (개인대중교통) or (PRT and (차량 or 시스템 or 열차)) or 궤도차 or 궤도택시 or ((off adj1 line adj1 station) or (오프라인역) or 최적경로 or (Optimal adj1 routing) or 논스톱운행 or (non adj1 stop adj1 movement)) or (para adj1 transit) or 무인고속택시 or 개인형고속전철).KEY.	일본 (국문)	374
Wips	((Personal adj1 rapid adj1 transit) or (Personalized adj1 transit adj1 system) or (PRT adj1 (vehicle or system or train or car)) or (small adj1 driverless adj1 passenger adj1 (vehicle or system)) or (off adj1 line adj1 station) or (para adj1 transit) or ((automated or (automatically adj1 controlled) or driverless or (rail adj1 grip*) or (guideway adj2 operat*) or guid* or guided or controllable) adj1 (vehicle or (transport adj1 system))) or ((track adj1 vehicle) and (diverge or diverging or diverg*))).KEY.	미국	1,837
		일본 (PAJ)	1,774
		유럽	852
		PCT	498
합계			8,097

<표 2.3.2> 추가 검색식 및 분석건수

검색 D/B	검색식	국가	검색 건수
Wips	(((급전 adj1 선로) or 인버터 or invertor) and 철도).KEY.	한국	120
		일본	202
	(((power adj1 feed) or invertor) and rail).KEY.	미국	32
		PAJ	75
		유럽	8
합계 0			

<표 2.3.3> 최종 유효데이터 분석건수

대분류	중분류	한국	미국	일본	유럽	PCT	합계
승객여정선택형 대중교통수단 (PRT)	PRT 선로구축물 (AA)	46	23	4	10	5	88
	PRT 차량 (AB)	66	21	8	21	21	137
	PRT 운행제어 (AC)	101	40	8	23	19	191
	PRT 전력공급 (AD)	12	18	1	-	1	32
계		**225**	**102**	**21**	**54**	**46**	**448**

분석 대상건에 해당하는 특허에 대해서는 다음의 <표 2.3.4>과 같은 기준에 따라 기술 분류를 수행하였다.

<표 2.3.4> 기술 분류 및 데이터 선별기준

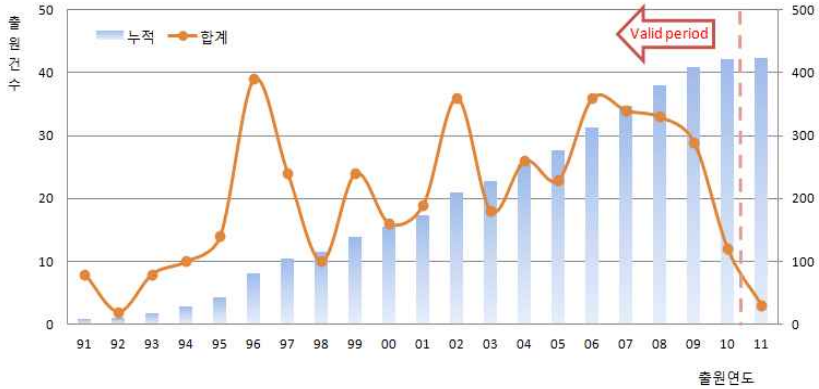
대분류	중분류	소분류	세부 기술
승객 여정선택형 대중교통 수단 (PRT)	PRT 선로구축물 (AA)	친환경, 고강도 궤도시스템 (AAA)	▪ 저소음, 고강도의 궤도구조(구성요소, 시스템) 설계 기술 ▪ 저소음, 고강도의 주행로 기술 ▪ 궤도 제작 및 시공 기술
		저심도구조물 (AAB)	▪ 저심도 구조물 구조 설계 기술 ▪ 저심도 구조물 제작/시공 기술
		고강도, 경량 고가구조물 (AAC)	▪ 고가구조물 구조 설계 기술 ▪ 고가구조물 제작/시공 기술
		정거장 및 차량검수기지 (AAD)	▪ 정거장 구조 설계 기술 ▪ 정거장 시공 기술 ▪ 정거장 시설 최적 설계 기술 ▪ 차량검수기지구조 설계 기술 ▪ 차량검수기지 시공 기술
		선로구축물 유지관리기준 연구 (AAE)	▪ PRT 구조물 유지관리기준 작성
		선로구축물 건설기준 연구 (AAF)	▪ PRT 구조물 건설기준 작성
		선로구축물 시험기술 (AAG)	▪ 평가항목 및 평가기준 개발 ▪ 시험평가 절차서 작성
	PRT 차량 (AB)	경량 안전 차체 설계 (ABA)	▪ 경량 차체 구조물 및 핵심 서브시스템 설계 기술 ▪ 차량 일체형 구조 설계 기술 ▪ 초경량 소재 활용 기술
		차량시스템 해석 (ABB)	▪ 시스템성능 해석 및 강도, 내구성 평가 기술 ▪ 주행안정성 해석 기술 ▪ 승차감 해석 기술
	PRT 운행제어 (AC)	주행제어 (ACA)	▪ 최적경로 탐색 기술 ▪ 공차최적배치 기술 ▪ 사고차량 관리 기술
		분기/병합 제어 (ACB)	▪ 분기제어 기술 ▪ 병합제어 기술
		최적경로 운행제어	▪ 차량위치 추적 기술

대분류	중분류	소분류	세부 기술
		(ACC)	▪ 차량속도 측정 기술 ▪ 차량속도 제어 기술 ▪ 차량간격 제어 기술 ▪ 차량/지상 정보전송 기술 ▪ 차량/지상간 정보전송 기술
		운행 및 안전기술 (ACD)	▪ 운행시나리오 생성 및 제어 기술 ▪ 위험원/회피제어 기술
	PRT 전력공급 (AD)	유도 급전을 위한 인버터 및 지상용 전류 루프 기술 (ADA)	▪ 고주파 전류형 인버터 제어 기술 ▪ 저 임피던스 전류 루프 설계 기술
		차량용 유도 집전시스템 (ADB)	▪ 집전장치(pick up coil 및 컨버터) 설계/제작 기술 ▪ 집전용 컨버터 설계
		하이브리드 배터리 시스템 (ADC)	▪ 하이브리드 시스템 설계/제작 기술 ▪ 하이브리드 배터리 시스템 충방전 제어 기술
		PRT 에너지 사용 분석을 위한 운행 제어 시뮬레이션 (ADD)	▪ 유도 급전시스템 모의 기술 ▪ 하이브리드 배터리 시스템 충방전 모의 기술 ▪ 차량 에너지 소모 모의 기술 ▪ 차량 운행제어 모의 기술
		전력공급시스템 성능 시험 (ADE)	▪ 유도 급전시스템 성능 시험 기술 ▪ 하이브리드 배터리시스템 성능시험기술 ▪ 유도 급전시스템 및 하이브리드 배터리 시스템 조합 성능 시험 기술
		전력공급시스템 설계, 설치 및 성능 시험 (ADF)	▪ 유도 급전 시스템 설계/제작/설치 기술 ▪ 하이브리드 배터리 시스템 설계/제작/설치 기술

2. 검색특허 출원동향 분석

승객여정선택형 대중교통(PRT) 기술에 관한 특허 총 952건에 대한 정량적 특허 동향 분석을 실시하였다. 참고로 특허출원 후 1년 6개월 이후에 공개되는 출원공개제도의 특성 때문에 출원연도를 기준으로 2010년 초반 이후 구간에서는 미공개특허가 반영되지 않았음을 감안하여야 한다.

가. 전체 특허 출원동향

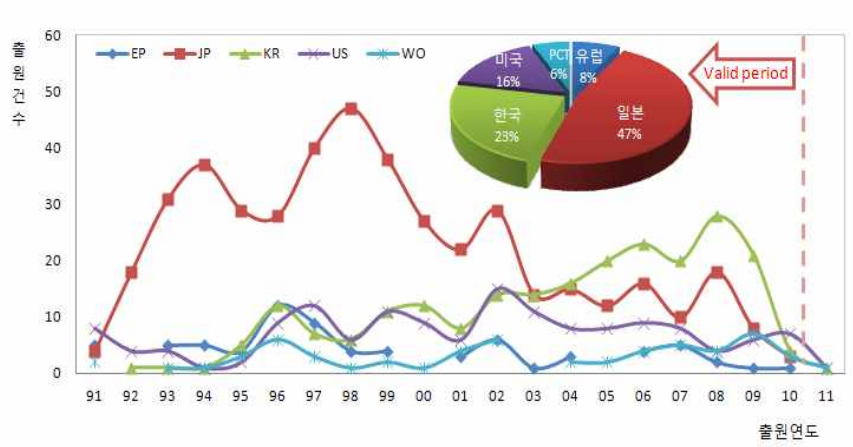


<그림 2.3.1> 전체 연도별 특허동향

그림 2.3.1은 출원연도별로 본 전체 국가별 특허 동향을 나타낸 그래프이다. 상기에 언급한 바와 같이 2010년 이후 특허건수가 감소하는 경향을 나타낸 것은 특허제도의 특성상 미공개 특허가 반영되지 않았기 때문이며, 특허 건수의 증가 추세로 볼 때, 실제 출원된 건수는 최근 년도를 상회할 것으로 예상된다.

전체 출원연도별 특허출원 동향을 살펴보면, 1991년부터 등락을 거듭하며 활발한 특허출원 활동을 보이고 있다. 전체 출원건으로 검토 시 2000년 이후 높은 출원증가율을 나타내고 있는 점과, PRT 기술의 수요 증가 추세에 비춰볼 때, 향후 PRT 분야의 연구개발 및 특허출원은 계속 증가할 것으로 판단된다.

나. 연도별 국가별 전체 출원동향



<그림 2.3.2> 국가별 전체 특허 출원동향

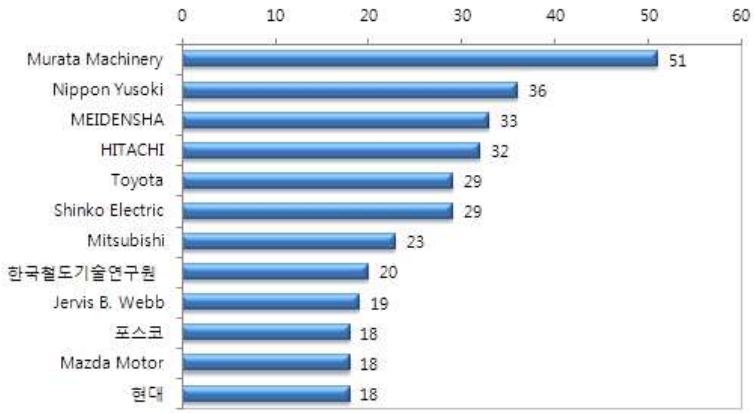
국가별 출원 동향을 살펴보면, 일본이 446건(47%)으로 출원활동이 가장 활발하였다. 일본의 경우, PRT 자체는 아니나, PRT를 구성하는 관련 요소 기술들에 대한 기술에 대하여 특허를 보유한 것으로 분석되며, 많은 출원인들이 미국시장개척 및 권리화에 노력하고 있는 것으로 분석된다.

다음으로 한국은 225건으로 출원점유율이 전체의 23%를 차지하고 있으며 특히 최근 10년을 기준으로 다른 국가에 비해 상대적으로 많은 특허 출원 활동을 보이고 있다. 한국의 경우 타 국가들보다 상대적으로 늦은 1990년대 후반부터 출원증가가 나타나 상대적으로 높은 증가율로 출원증가가 이루어진 것으로 나타남에 따라 향후 한국의 출원점유율은 상대적으로 높아질 것으로 전망된다.

미국, 유럽, PCT는 각각 149건, 74건, 58건으로 출원점유율은 각각 16%, 8%, 6%를 차지하는 것으로 나타났다.

다. 주요 출원인별 출원동향

(1) 상위 다출원인 특허 출원 현황

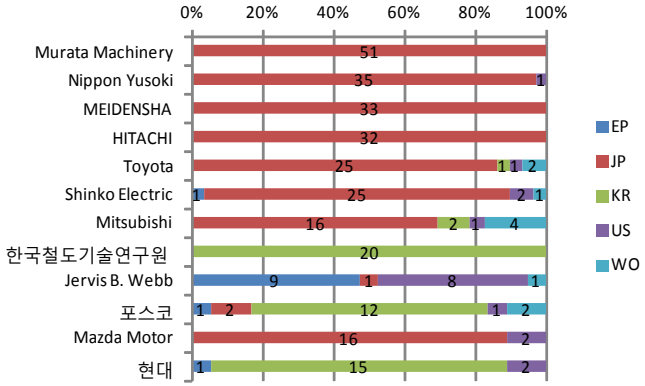


<그림 2.3.3> 상위 다출원인 TOP10

그림 2.3.3은 승객여정선택형 대중교통(PRT) 기술 전체의 상위 다출원인의 특허출원현황을 나타낸 것으로써, 일본의 Murata Machinery社가 전체 51건으로 가장 많은 특허 출원건을 보유하고 있다. 그 뒤로 일본의 Nippon Yusoki가 36건을 출원하고 있으며, MEIDENSHA가 33건, HITACHI가 32건, Toyota가 29건, Shinko Electric가 29건, Mitsubishi가 23건을 출원하여 주요 출원인인 것으로 나타났다.

한국의 한국철도기술연구원, 포스코 및 현대가 각각 20건, 18건, 18건으로 상위 다출원인에 포함되어 있다. Jervis B. Webb는 TOP 10에 속한 유일한 미국 기업으로 19건의 특허출원을 한 것으로 나타났다.

상위 다출원인 TOP10 12개사 중 일본 출원인은 총 8개社로 PRT와 관련 요소 기술 분야에서의 기술 점유가 집중되고 있는 것으로 나타났다.



<그림 2.3.4> 상위 다출원인 국가별 출원현황

그림 2.3.4는 PRT 기술분야 상위 다출원인의 국가별 출원현황을 나타낸 것으로, 많은 상위 출원인들이 해외 출원을 가지고 있어, 해외 권리화에도 노력하고 있는 것으로 나타났다. 따라서, 본 기술분야는 해외권리화가 활성화되어 있는 기술분야인 것으로 판단된다.

한편, Murata Machinery, MEIDENSHA 및 HITACHI社는 일본이외에는 출원인이 나타나지 않아 해외 시장에 대해서 소극적인 것으로 나타났다. 미국에 1건의 출원을 한 Nippon Yusoki사를 비롯한 일본 출원인들의 경우 전반적으로 자국 시장을 중심으로 권리화를 추진하고 있는 것으로 분석된다.

해외 시장에 대해 가장 적극적인 기업은 Jervis B. Webb社로 유럽과 미국 시장에서 권리화가 진행되고 있으며, 상대적으로 아시아쪽 시장에 대해서 소극적인 것으로 나타났다.

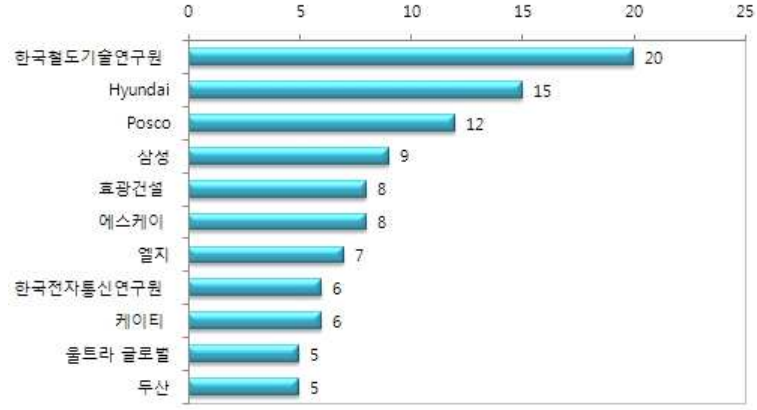
다음의 표 2.3.5는 주요 출원인의 연도별 출원현황을 나타낸 것으로, 대부분의 일본 출원인의 경우 1990년대에 많은 출원을 하였다가 2000년대 중반에 들어선 이후 소수건을 꾸준히 출원하고 있는 것으로 나타났다.

한국의 한국철도기술연구원의 경우 2000년대 이후 출원이 시작되어 상대적으로 늦게 본 기술분야에 진출하였으나, 2004년 5건, 2008년 8건의 출원을 하며 권리화에 힘쓰고 있는 것으로 나타났다.

전체적으로 본 기술분야는 지속적인 출원이 이루어지고 있는 발전기에서 성숙기 단계 진입하고 있는 기술분야인 것으로 판단된다.

<표 2.3.5> 주요 출원인별 연도별 출원현황

출원인	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	합계
Murata Machinery		2	4	2	1		6	5	6	5	10	7	2					1			51
Nippon Yusoki		1		2	3	1	2	2	4	2	1	9	2	3	2	2					36
Meidensha		5	4	4	3	2	2	2	1	3	1	3				1			2		33
HITACHI	2		2	5	6	4	1	4	1				2			2	1			2	32
Toyota		4	5	1			1	2				1	1		2	2	2	7	1		29
Shinko Electric			2			3	5	9	8							1	1				29
Mitsubishi			2	3	1	4	1		2		1	1		2	1				5		23
철도기술연구원													1	5	1	1	2	8	2		20
Jervis B. Webb					1	3	1	3	1			4	1		1	1	3				19
포스코								1						1	1	1	5	3	6		18
Mazda Motor				3		1	6			1		1		3	1		2				18
현대		1				3		1			1		1	1	3	1	1	3	1	1	18
합계	2	13	19	20	15	21	25	29	23	11	14	26	10	15	12	12	17	22	17	3	326

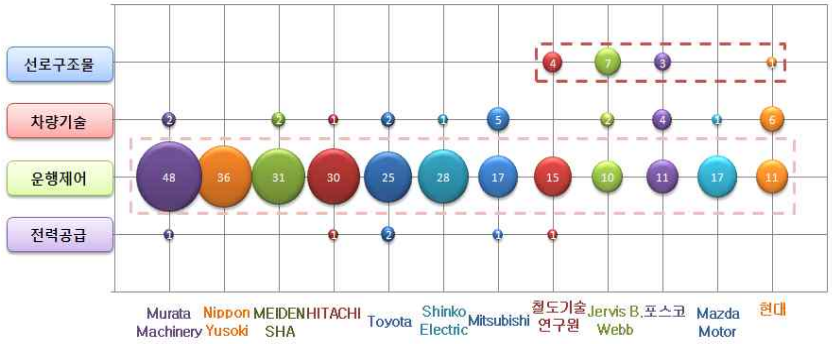


<그림 2.3.5> 한국 상위 다출원인 출원현황

그림 2.3.5는 PRT 기술분야 한국의 상위 다출원인 현황을 나타낸 것으로, 한국철도기

술연구원을 중심으로 현대, 포스코, 삼성, 효광건설, 에스케이, 엘지, 한국전자통신연구원, 케이티, 울트라 글로벌, 두산의 순으로 많은 특허 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 한국 내 대부분의 상위출원인이 기업으로서, 한국에 있어 본 기술 분야는 소규모 개인위주의 연구개발 보다는 기업형 연구개발이 주를 이루고 있는 것으로 분석된다.

(2) 주요 출원인별 기술별(중분류별) 동향



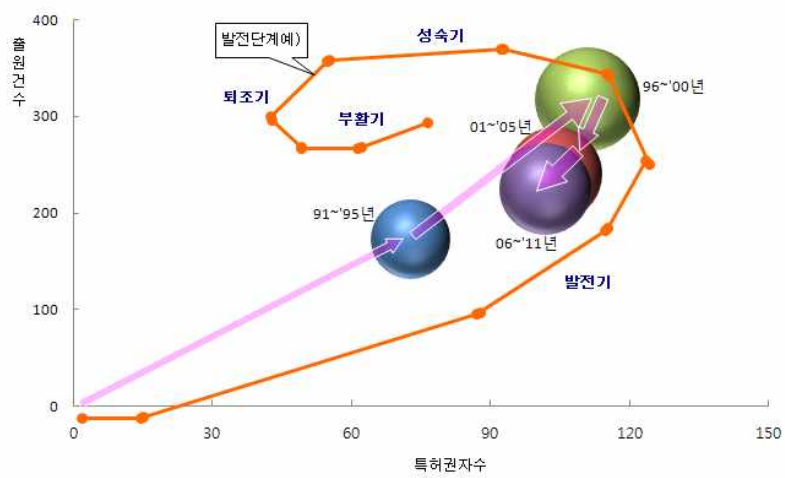
<그림 2.3.6> 상위 다출원인 세부 기술별 특허 현황

그림 2.3.6은 상위 다출원인의 세부 기술별 현황을 나타낸 것으로 대부분의 출원인에서 PRT 운행제어 분야 기술의 특허 비중이 높은 것으로 나타났으며, Jervis B. Webb, 한국철도기술연구원 및 포스코의 경우 선로구축물 분야 기술의 특허 출원도 활발한 것으로 나타났다.

Jervis B. Webb은 AGV(Automatic Guided Vehicle) 공급업체로서 1919년 미국에 설립되어 AGVs, Automatic Guided Carts (AGCs), Automatic Storage/Retrieval Vehicles (AS/RV) 관련 기술을 제공하고 있다.

PRT 차량기술 분야의 특허 비중이 높은 출원인으로는 Mitsubishi, 현대, Posco 등이 있다.

(3) 포트폴리오로 본 기술 분야의 위치



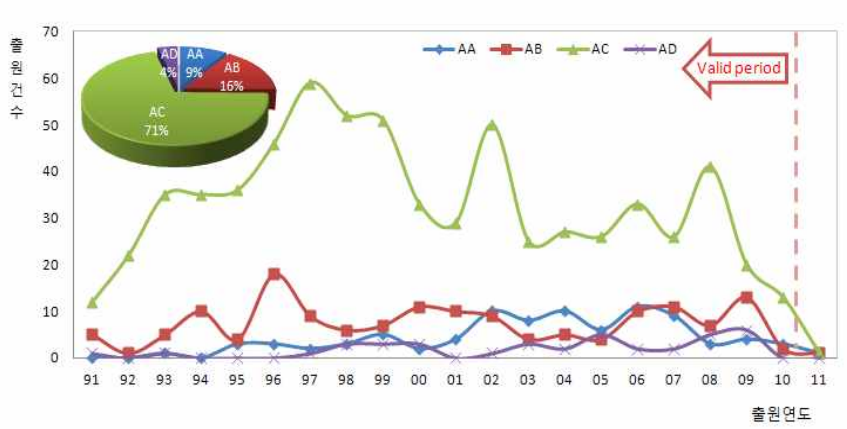
<그림 2.3.7> 포트폴리오로 본 PRT 분야 기술 위치

※분석구간 : 한국, 미국, 일본, 유럽 및 PCT 특허 1991~2011(출원년도)

그림 2.3.7은 PRT 기술의 기술 분야의 위치를 나타낸 것으로써, 각 출원국의 출원건수와 출원인수로 나타낸 포트폴리오 그래프이다. 위의 그림 2.3.7을 참조하면 기술개발 활동정도를 나타내는 출원건수와 시장의 신규 진입자를 의미하는 출원인수가 '00년까지 점차 증가하는 추세를 보이며, 발전기 단계의 모습을 나타내다 최근('01~'11) 감소하는 추세를 보이며 성숙기 단계의 모습을 보이고 있다.

PRT 기술분야를 PRT 고유의 기술과 AGV 기술로 구분하여 보면, PRT 기술 자체는 아직 시장이 활성화되지 않은 발전기 단계에 있으나, AGV 기술의 경우 성숙기에 접어든 분야로, 이를 통합하여 살펴보면 전체적으로는 PRT 기술분야는 성숙기에 진입하고 있는 것으로 판단할 수 있다.

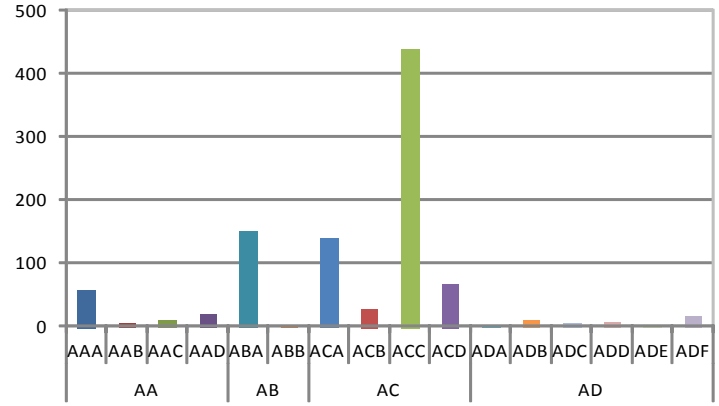
(4) 기술별 전체 출원동향



<그림 2.3.8> 기술별 전체 특허 출원동향

그림 2.3.8은 세부 기술의 특허출원 현황을 나타낸 것으로, 일반적으로 세계의 승객여정선택형 대중교통(PRT) 기술은 PRT 운행제어(AC)와 PRT 차량기술(AB)에 집중되어 있는 것으로 보인다.

2009년부터 최근 3년간 출원된 특허들을 살펴보면, AGV 시스템, Hybrid PRT system, 고강도의 선로구축물, 승차감 상승을 위한 장치 및 방법, 경로 제어 방법 등에 관한 기술이 집중적으로 연구되고 있다.



<그림 2.3.9> 세부기술별 특허 출원현황

세부기술별 특허출원현황을 살펴보면, 선로구축물(AA) 분야는 친환경 고강도 궤도시스템 기술(AAA)을 중심으로 많은 연구가 이루어지고 있으며, PRT 차량기술(AB) 분야는 경량안전 차체 설계 기술(ABA)의 특허 점유도가 높은 것으로 나타났다.

PRT 운행제어 기술 분야를 살펴보면, 주행제어기술(ACA)과 최적경로 운행제어기술(ACC) 분야의 출원이 활발한 것으로 보인다. 운행제어 기술과 관련하여 큰 영향을 주고 있는 기타 기술로는, 현재 확실한 시장이 형성되어 있는 내비게이션 기술이 있으며, 이는 무인 궤도차량이 설정된 목적지를 최적 경로로 탐색해 도달하는 것을 목적으로 하고 있기 때문으로 두 기술분야는 서로 기술 시장을 공유할 가능성이 높을 것으로 사료된다.

위의 그림 2.3.9를 통해 PRT 기술분야는 전반적으로 기술 개발이 미미한 상태인 것으로 조사된 바, 미래형 운송 시스템으로 평가받고 있는 PRT 기술의 시장 확보 및 원천기술을 확보하기 위한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

<표 2.3.6> PRT 기술분류표

대분류	중분류	소분류
승객여정선택형 대중교통수단 (PRT)	PRT 선로구축물 (AA)	친환경, 고강도 궤도시스템(AAA)
		저심도구조물(AAB)
		고강도, 경량 고가구조물(AAC)
		정거장 및 차량검수기지(AAD)
		선로구축물 유지관리기준 연구(AAE)
		선로구축물 건설기준 연구(AAF)
		선로구축물 시험기술(AAG)
	PRT 차량 (AB)	경량 안전 차체 설계(ABA)
		차량시스템 해석(ABB)
	PRT 운행제어 (AC)	주행제어(ACA)
		분기/병합 제어(ACB)
		최적경로 운행제어(ACC)
		운행 및 안전기술 (ACD)
	PRT 전력공급 (AD)	유도 급전을 위한 인버터 및 지상용 전류루프 기술 (ADA)
		차량용 유도 집전시스템(ADB)
		하이브리드 배터리 시스템(ADC)
		PRT 에너지 사용 분석을 위한 운행 제어 시뮬레이션(ADD)
		전력공급시스템 성능 시험(ADE)
		전력공급시스템 설계, 설치 및 성능 시험(ADF)

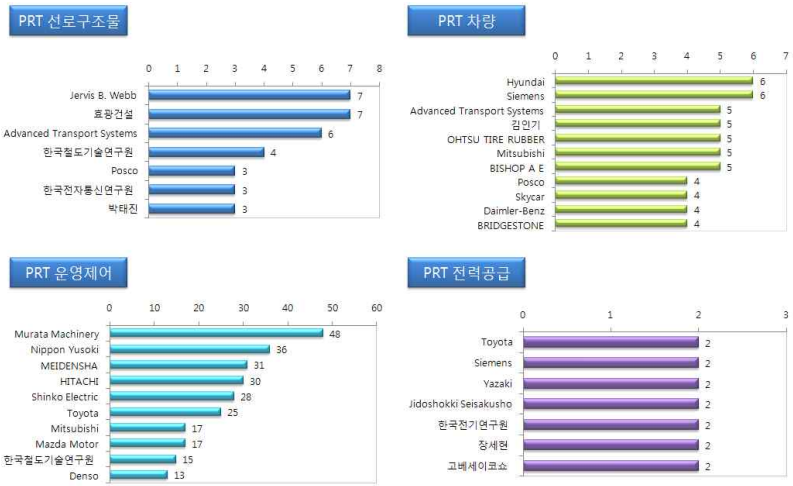
(5) 기술별 국가별 특허 출원현황



<그림 2.3.10> 국가별 기술별 특허 출원동향

그림 2.3.10은 국가별 세부 기술의 특허출원 현황을 나타낸 것으로, 전체 출원동향에서와 마찬가지로 운행제어와 차량기술에 집중되어 있는 것으로 분석된다. 일본의 경우, 운행제어 분야 기술에 출원이 집중되고 있는 것으로 나타났으며, 반면 한국의 경우 전체적으로 특허수가 매우 많은 것은 아니나 기술분야 전반에 걸쳐 고른 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 미국은 타국에 비해 전력공급 분야의 출원비중이 높은 것으로 조사되었음에 따라 전력공급 분야의 원천기술을 확보하고 있을 가능성이 높은 것으로 사료된다.

(6) 기술별 출원인별 출원현황



<그림 2.3.11> 기술별 주요출원인별 특허현황

그림 2.3.11은 기술별 주요출원인별 특허현황을 나타낸 것으로, PRT 선로구축물 분야의 주요 출원인으로는 Jervis B. Webb, 효광건설, Advanced Transport Systems, 한국철도기술연구원, Posco, 한국전자통신연구원, 박태진이 있다. PRT 차량 분야의 주요출원인으로는 Hyundai, Siemens, Advanced Transport Systems, 김인기, OHTSU TIRE RUBBER, Mitsubishi, BISHOP A E, Posco, Skycar, Daimler-Benz, BRIDGESTONE 등이 있는 것으로 조사되었으며, PRT 운행제어 분야는 Murata Machinery, Nippon Yusoki, MEIDENSHA, HITACHI, Shinko Electric, Toyota, Mitsubishi, Mazda Motor, 한국철도기술연구원, Denso 등이 있다. 전력공급 분야는 Toyota, Siemens, Yazaki,

Jidoshokki Seisakusho, 한국전기연구원, 장세현, 고베세이코쇼 등이 있다.

다음 표 2.3.7은 최근 3년간의 특허출원현황을 리스트로 나타낸 것임

<표 2.3.7> 최근 3년간 특허출원현황

No	국가	출원번호	출원일자	출원인 정리	발명의 명칭
1	EP	09004043	2009.03.20	Aichikikai Techno System	Automatic Guided Vehicle Drive Device
2	EP	10160780	2010.04.22	Danaher Motion Särö AB	A Method and a System for Gathering Data
3	JP	2009.029665	2009.02.12	Taihei Seisakusho	Non Contact Power Receiving Apparatus and Automated Guided Vehicle
4	JP	2009.082243	2009.03.30	Toyota	Automatic Carrying Device
5	JP	2009.088152	2009.03.31	KANTO AUTO WORKS	Truck For Automatic Guided Vehicle and Automatic Guided Vehicle
6	JP	2009.102636	2009.04.21	KANTO AUTO WORKS	Battery Automatically Exchanging and Automatically Charging Apparatus
7	JP	2009.102530	2009.04.21	Meidensha	Steering Drive Method and Device for Automated Guided Vehicle
8	JP	2009.106022	2009.04.24	Meidensha	Apparatus and Method for Controlling Automated Guided Vehicle at Intersection
9	JP	2009.191042	2009.08.20	TOSHIBA	Elevator Device Coping with Automated Guided Vehicle and Failure Detecting Method of the Elevator Device
10	JP	2009.274449	2009.12.02	NIPPON SHARYOSEI ZOKAISHA	Automated Guided Vehicle
11	JP	2010.001236	2010.01.06	HITACHI	Automated Guided Vehicle and Travel Control Method for the Same
12	JP	2010.001245	2010.01.06	HITACHI	Automated Guided Vehicle and Travel Control Method of the Same
13	JP	2010.008007	2010.01.18	NIPPON SHARYOSEI	Automated Guided Vehicle

No	국가	출원번호	출원일자	출원인 정리	발명의 명칭
				ZOKAISHA	
14	KR	10.2009.0015037	2009.02.23	경기대학교 산학협력단	급전선로 스위칭이 가능한 안테나 구조체
15	KR	10.2009.0023050	2009.03.18	Posco	Ｉｎｔｒａｃｋ방식 ＰＲＴ차량의 경로제어방법
16	KR	10.2009.0023525	2009.03.19	Posco	ＰＲＴ차량용 선로 분기 및 합류장치
17	KR	10.2009.0040888	2009.05.11	Posco	피알티시스템용 차량의 하부구조
18	KR	10.2009.0045474	2009.05.25	Posco	교차추진방법을 이용하는 인트랙방식 무인운전교통시스템
19	KR	10.2009.0045994	2009.05.26	Posco	자동운행 차량 시스템에서 차량의 경로를 제어하는 제어 시스템 및 제어 방법
20	KR	10.2009.0055291	2009.06.22	인제대학교 산학협력단	프록시모바일 ＩＰｖ6기반네트워크상에서이동 단말간통신경로최적화방법및시스템
21	KR	10.2009.0055459	2009.06.22	Posco	자동운전차량시스템에서의차량의 군집주행방법
22	KR	10.2009.0062373	2009.07.09	Hyundai	궤도차량 위치 검지 시스템
23	KR	10.2009.0084701	2009.09.09	이충철	무한궤도차량
24	KR	10.2009.0084705	2009.09.09	이충철	수륙양용 무한궤도
25	KR	10.2009.7019783	2009.09.22	왑텍홀딩 코포레이션	궤도차 핸드 브레이크용 해제 홀딩 메커니즘
26	KR	10.2009.0090933	2009.09.25	김인권	무한궤도차의 트랙 견인장치
27	KR	10.2009.0096189	2009.10.09	박효상	피알티 시스템
28	KR	10.2009.7021916	2009.10.20	울트라 글로벌	차량 안내 시스템
29	KR	10.2009.0101078	2009.10.23	ALSTOMAN LAGEN.UND AUTOMATI SIERUNGST ECHNIK	승객 운송 궤도차
30	KR	10.2009.0102334	2009.10.27	한국철도기술 연구원	바이모달트램의자기장유도형식일 반선로용마그네틱바의설치방법
31	KR	10.2009.0102335	2009.10.27	한국철도기술 연구원	바이모달트램의자기장유도형식전 용선로용마그네틱바의시공방법
32	KR	10.2009.0103108	2009.10.29	ALSTOMAN LAGEN.UND AUTOMATI SIERUNGST ECHNIK	승객 운송 궤도차

No	국가	출원번호	출원일자	출원인 정리	발명의 명칭
33	KR	10.2009.0112617	2009.11.20	한국전자통신연구원	Q o S 보장경로탐색장치및방법
34	KR	10.2009.0127393	2009.12.18	한국과학기술원	듀얼타입전기자동차용급전선로시공방법
35	KR	10.2010.0007654	2010.01.28	김강철	궤도차량의 주행장치
36	KR	10.2010.0011316	2010.02.08	Hyundai	선로 전환기 제어 시스템
37	KR	10.2010.7009903	2010.05.04	울트라 글로벌	고속 개인 수송 시스템용 트랙웨이
38	KR	10.2010.0079442	2010.08.17	팔로알토 리서치센터 인코포레이티드	이동시간의도로곡률효과및루트플래닝에대한평안함을평가하기위한 모델기반방법
39	KR	10.2011.0003888	2011.01.14	주민수	무한궤도 차량용 슈패드 어셈블리
40	US	2009.352657	2009.01.13	Pumpellyt	Hybrid Personal Transit System
41	US	2009.934525	2009.02.11	Siemens	Power Storage System for A Rail Guided Vehicle
42	US	2009.143841	2009.07.01	Mitsubishi	Track Guided Vehicle Wheel Truck
43	US	2009.459728	2009.07.07	Emanuel, David C.	Method and Apparatus for Collision Avoidance
44	US	2009.406504	2009.03.18	Aichikikai Techno System	Automatic Guided Vehicle Drive Device
45	US	2009.612921	2009.11.05	GM	Automated Guided Vehicle
46	US	2010.656517	2010.02.02	Davis, Jr., William D	Public Highway System
47	US	2010.715457	2010.03.02	IBM	Changing Priority Levels within a Controllable Transit System
48	US	2010.715449	2010.03.02	IBM	Reconciling Service Class Based Routing Affecting User Service within a Controllable Transit System
49	US	2010.715435	2010.03.02	IBM	Service Class Prioritization within a Controllable Transit System

No	국가	출원번호	출원일자	출원인 정리	발명의 명칭
50	US	2010.767869	2010.04.27	IBM	Emergency Routing within a Controllable Transit System
51	US	2010.858462	2010.08.18	SICK AG	Safety Scanner
52	US	2010.688813	2010.01.15	Boomerang Systems	Automated Storage System and Transport Vehicle
53	US	2011.151924	2011.06.02	Pumpellyt	Hybrid Personal Transit System
54	WO	PCT/09/56950	2009.06.05	Siemens	Track Guided Vehicle with a Redox Flow Type Battery
55	WO	PCT/09/62062	2009.07.01	Mitsubishi	Bogie for Track.Guided Vehicle
56	WO	PCT/09/62063	2009.07.01	Mitsubishi	Bogie for Track Guided Vehicle
57	WO	PCT/09/62318	2009.07.06	Mitsubishi	Bogie for track Guided Vehicle
58	WO	PCT/09/62319	2009.07.06	Mitsubishi	Bogie for Track Guided Vehicle
59	WO	PCT/09/66425	2009.12.04	ROBERT BOSCH	Hydrauric Assembly for Regulating the Brake Pressure of an Electronically Slip Control Vehicle Braking System
60	WO	PCT/JP09/55374	2009.03.12	NISSAN MOTOR	Travel Mode Switching Control System for Automated Guided vehicle and Switching Control Method
61	WO	PCT/10/00099	2010.01.12	Voith Patent	Method for Detecting Route Data
62	WO	PCT/10/05936	2010.09.29	Sew. Eurodrive	System with A Track Guided Vehicle
63	WO	PCT/US10/21283	2010.01.15	Boomerang Systems	Automated Storage System and Transport Vehicle
64	WO	PCT/11/51792	2011.02.08	IBM	Service Class Prioritization Within a Controllable Transit System

3. 기술별 심층 분석

가. 분석 대상 선정 및 분석 방법

먼저, PRT 기술을 검색하였으며, 한국, 일본, 미국, 유럽, PCT에 대해 검색하여 총 952건에 대해 출원동향 분석을 수행하였다. 심층분석을 위한 대상기술 선정은 상기 총 952건의 기술 중에서 피인용 수와 패밀리 수를 고려하여 13건의 특허를 선정하였으며, 참고할 기술문헌은 주요 특허 분석으로 상술하였다.

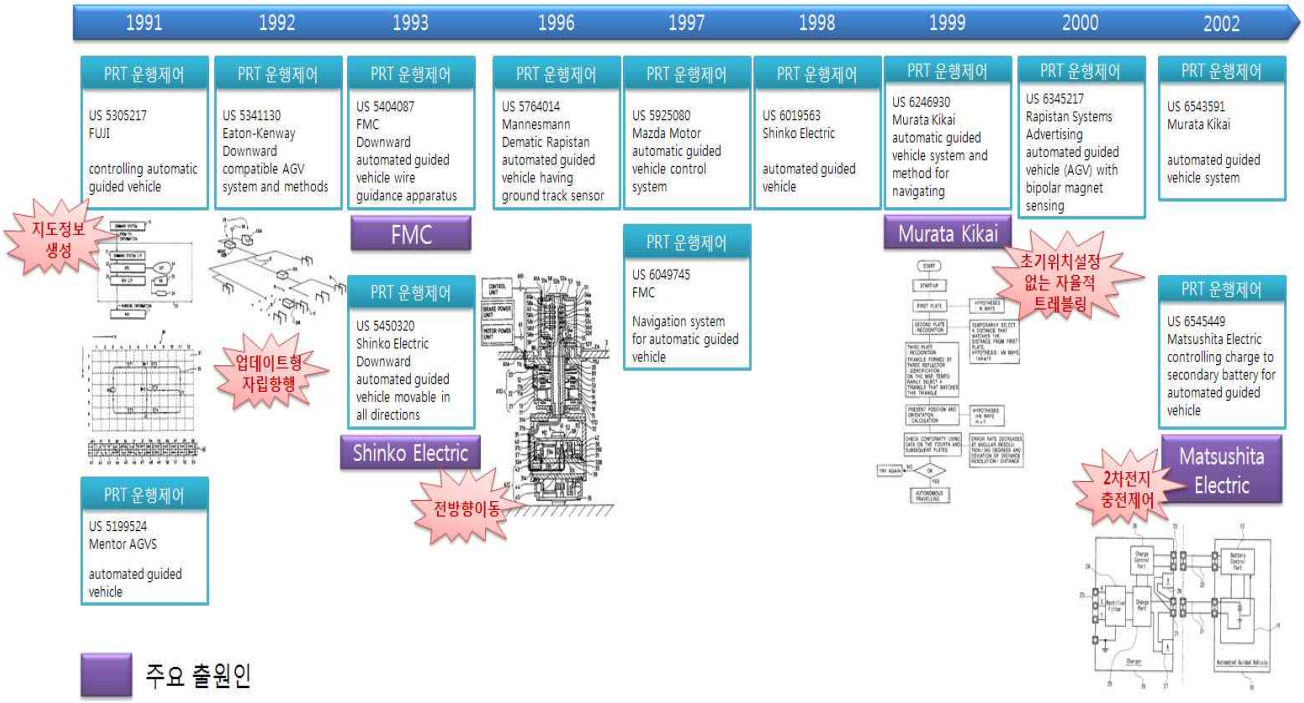
나. PRT 기술 기술발전 흐름도

그림 2.3.12는 PRT 기술의 기술 발전 흐름을 살펴본 그래프로써, PRT 기술분야의 유효특허 중 피인용도가 높은 특허를 선정하고 이에 따른 발전도를 나타낸 것이다. 기술 흐름도를 통해 살펴본 PRT 기술은 전체적으로 1990년대를 중심으로 PRT 운행제어 기술 연구가 두드러지게 나타나고 있는 것으로 분석되었다. PRT 운행제어 기술은 양적으로는 Murata Machinery를 중심으로 연구개발 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 그러나 피인용 측면에서 살펴볼 때, Matsushita Electric이 출원한 미국 등록특허번호 제 6545449호 “Method for controlling charge to secondary battery for automated guided vehicle”의 경우 105건의 특허에서 인용되어 AGV 시스템 분야의 원천특허로 분석된 바, AGV 시스템 기술이 포함된 PRT 운행제어 분야는 Matsushita Electric을 중심으로 기술을 발전시키고 있는 것으로 사료된다. US 6545449는 무인 반송 장치에 탑재된 니켈 금속 수화물 2차 전지와 같은 2차 전지에 충전을 제어하기 위한 방법에 관한 것으로, 탑재된 이차 전지의 메모리 효과로 전하 대전 동안 벨브의 오퍼레이션을 방지하고 상한치 충전전압의 오류 검출을 억제시켜 충전을 제어하는 기술이다.

Matsushita Electric은 1997년부터 2002년까지 13건의 특허를 출원하였으며, AGV, AGV 운행 제어방법 및 AGV를 위한 2차 전지의 충전 제어 등에 관한 특허를 출원하고 권리를 확보하고 있다.

FMC의 경우, AGV의 guidance와 Navigation system을 중점적으로 연구하였으며, Shinko Electric의 경우, 전방향 운행이 가능한 AGV 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. US 6049745는 차량에 navigating 정보를 제공하기 위해 이해할 수 있는 영역을 가지는 혼잡한 공장 플로어에서 자동 가이드 차량을 통과시키기 위한 AGV와 AGV 시스템에 대해 기술하고 있다.

Murata Kikai의 경우, 미국 등록특허번호 제 6246930호와 미국 등록특허번호 제 6543591호 “automatic guided vehicle system and method for navigating automatic guided vehicle”, “automated guided vehicle system”을 통해 AGV 시스템과 AGV 시스템의 Navigation 기능과 관련하여 권리를 확보하고 있다. US 6246930은 자동 반송차를 조종하기 위한 자동 유도 차량 시스템에 관한 것으로, 현재 포지션이 일시적으로 AGV의 초기 위치를 결정하는 것 없이 임의 위치에 인지될 수 있게 하기 위한 시스템이며, US 6543591은 컨베이어 차량을 물건 운송 차량의 공급자 라인과 수전 시스템의 건축 구조물에 물리적으로 비-접촉 상태에서 트랙을 따라 배치된 분배선으로부터 공급된 전력을 얻음으로써 이동되게 만든 무인 운반차 시스템에 관한 것이다.



<그림 2.3.12> PRT 기술 발전 흐름도

다. 주요 특허 분석

다음은 상기 PRT 기술의 기술 발전 흐름도에 나타낸 주요 특허들이며, 세부적인 내용은 부록에 첨부하였다.

<표 2.3.8> PRT 분야 주요특허 목록

NO.	국가	출원번호	출원일자	등록번호	출원인 정리	발명의명칭
1	US	1991-723614	1991-07-01	5305217	FUJI	Method and System for Controlling Automatic Guided Vehicle
2	US	1991-723902	1991-07-01	5199524	Mentor AGVS, Inc.	Automated Guided Vehicle
3	US	1992-908691	1992-06-26	5341130	Eaton-Kenway	Downward Compatible AGV System and Methods
4	US	1993-025700	1993-03-03	5404087	FMC	Automated Guided Vehicle Wire Guidance Apparatus
5	US	1993-142087	1993-10-28	5450320	Shinko Electric	Automated Guided Vehicle Movable in All Directions
6	US	1996-595353	1996-02-01	5764014	Mannesmann Dematic Rapistan	Automated Guided Vehicle Having Ground Track Sensor
7	US	1997-795267	1997-02-10	6049745	FMC	Navigation System for Automatic Guided Vehicle
8	US	1997-834824	1997-03-31	5925080	Mazda Motor	Automatic Guided Vehicle Control System
9	US	1998-059361	1998-04-14	6019563	Shinko Electric	Automated Guided Vehicle
10	US	1999-290422	1999-04-13	6246930	Murata Kikai	Automatic Guided Vehicle System and Method for Navigating Automatic Guided Vehicle
11	US	2000-539687	2000-03-31	6345217	Rapistan Systems Advertising	Automated Guided Vehicle (AGV) with Bipolar Magnet Sensing
12	US	2002-032549	2002-01-02	6543591	Murata Kikai	Automated Guided Vehicle System
13	US	2002-119620	2002-04-09	6545449	Matsushita Electric	Method for Controlling Charge to Secondary Battery for Automated Guided Vehicle

라. 주요 출원인 보유 기술 분석

(1) Advanced Transport Systems(ULTra)

Advanced Transport Systems은 1995년 Bristol 대학과 공동으로 도시 교통 솔루션을 고안하기 위해 개발을 시작하였다. 2001년 Advanced Transport Systems은 Cardiff에서 1km 테스트 트랙을 건설하고 여러 대의 PRT 차량을 운행하였다. 2003년에는 UK Regulatory Authority로부터 Ultra pod system에 대한 공공이용이 승인되었다. 2005년에는 런던의 Heathrow Airport에 pod system을 구축하도록 선발되어 현재 T5 Business Car Park에서 터미널로 하루 900명의 승객을 운송하고 있다.

Advanced Transport Systems의 ATS 시스템은 레이저 센서를 통해 가이드웨이를 따라 움직이는 고무바퀴 차량으로 구성되는데, 차량은 승객이 내리면 충전소에서 재충전을 하게 된다. 궤도구조물은 자전거 트랙과 유사한 모양으로 콘크리트 슬래브와 철골조 빔으로 구성되어 있다.

<표 2.3.9> Advanced Transport Systems의 PRT 시스템

회사명	Advanced Transport Systems
PRT 분야 주요 보유 기술	
	- 총 중량 : 1200kg - 40 kph - 2KW 지속 배터리 - Heathrow 프로젝트 : 99.6% 신뢰도 - 인도교와 같은 고가교량 - 4명의 승객 탑승

(가) 보유 지재권 포트폴리오 현황

Advanced Transport Systems은 PRT 기술분야 특허를 가장 많이 확보한 업체로서, 표 2.3.10은 Advanced Transport Systems의 PRT 분야 특허 목록을 나타낸 것이다.

<표 2.3.10> Advanced Transport Systems의 PRT 분야 특허

No	Publication Number	Application Date	Inventor	Title
1	EP1467880	2003-01-16	Lowson, Martin V.	A Swing and Slide Door
2	WO2003061999	2003-01-16	Lowson, Martin V.	A Swing and Slide Door
3	KR940896	2003-01-16	Lowson, Martin V.	Door
4	JP04593112	2003-01-16	Lowson, Martin V.	Swing/sliding door
5	EP1613813	2004-04-13	Lowson, Martin V.	Station Design
6	WO2004089679	2004-04-13	Lowson, Martin V.	Station Design of a Personal Rapid Transit System
7	JP04486083	2004-04-13	Lowson, Martin V.	Station Design of a Personal Rapid Transit System
8	US7364219	2004-12-22	Lowson, Martin V.	Swing and Slide Door
9	KR2006007382	2005-10-10	Lowson, Martin V.	Station Design for Personal Rapid Transport System
10	EP1896912	2006-06-23	Edwards Keith	Movement Control Method
11	WO2006136855	2006-06-23	Edwards Keith	Movement Control Method
12	US7681505	2006-11-13	Lowson, Martin V.	Station Design for Personal Rapid Transport Systems
13	WO2007125283	2007-04-20	Ross-Martin Torquil	Steering Arrangement for a Driverless Vehicle
14	EP2010980	2007-04-20	Ross-Martin Torquil	Steering Arrangement for a Driverless Vehicle
15	EP2164743	2007-07-10	Cox, Paul	Automatic Vehicle Guidance Protection System
16	KR2010065270	2007-07-10	Cox, Paul	Automatic Vehicle Guidance Protection System
17	KR2008017377	2007-12-21	Edwards Keith	Movement Control Method

No	Publication Number	Application Date	Inventor	Title
18	EP2140322	2008-04-10	Ross-Martin Torquil	Vehicle Guidance System
19	WO2008129236	2008-04-10	Ross-Martin Torquil	Vehicle Guidance System
20	KR2010015741	2008-04-10	Ross-Martin Torquil	Vehicle Guidance System
21	EP2203594	2008-10-17	Lowson Martin V.	Trackway for Personal Rapid Transport System
22	WO2009050491	2008-10-17	Lowson Martin V.	Trackway for Personal Rapid Transport System
23	KR2010131415	2008-10-17	Lowson Martin V.	Trackway for Personal Rapid Transport System
24	KR2009006860	2008-11-20	Ross-Martin Torquil	Steering Arrangement for a Driverless Vehicle
25	US201001455501	2010-02-11	Ross-Martin Torquil	Vehicle Guidance System
26	US20100168948	2010-03-05	Edwards Keith	Movement Control Method
27	US20110042474	2010-10-28	Lowson Martin V.	Trackway for Personal Rapid Transport Systems
28	WO2008129275	2008-04-21	Ross-Martin Torquil	Vehicle Steering Arrangement

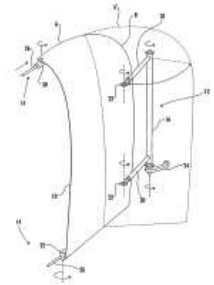
Advanced Transport Systems은 영국 기업으로 유럽과 한국, PCT를 중심으로 특허 출원이 이루어지고 있다.

주요 발명자로는 Lowson Martin V., Ross-Martin Torquil, Edwards Keith, Cox, Paul 이 있다. Lowson Martin V.는 주로 door, Trackway, station 구조 기술 연구에 참여하였으며, Ross-Martin Torquil과 Cox, Paul은 Vehicle Guidance System 관련 기술을, Edwards Keith는 movement control 분야 기술 연구에 집중하고 있는 것으로 조사되었다.

(나) 보유 지재권 권리범위 분석

① 한국등록특허 KR940896

<표 2.3.11> ATS사의 한국등록특허(KR94086) 요약

출원번호	10-2004-7010980	**등록번호**	KR940896	**법적상태**	등록
출원일자	2003-01-16	**등록일자**	2010-01-29	**권리만료**	2023-01-16
국제특허분류	B60J 차량의 창, 방풍 유리, 비고정식의 지붕, 문 또는 동류의 장치 ; 차량에 특별히 적합하게 분리가능한 외부 보호 커버 E05D 도어, 창 또는 윙용 힌지(Hinge) 및 다른 지지 장치 E05F 윙을 개폐(開閉)하는 수단; 윙용(用) 체크(Check); 타류에 속하지 않고 윙의 기능에 관계되는 윙의 부품				
명칭	도어				
대표도면					

도어(6)는, 예를 들면 차량에서, 샤프트(16)의 축에 대한 아치형 이동을 위한 한쪽 에지(8), 및 대체로 레일들(26,28)을 따라 도어 오프닝의 평면에서의 변위(displacement)를 위한 다른 쪽의 에지(10)에서 장착된다, 따라서, 개방 시, 에지(10)가 레일들(26,28)을 따라 가이드되면서, 에지(8)는 에지(10)와 도어 오프닝으로부터 분리되어 종축으로 이동하기 전에 도어 오프닝으로부터 바깥쪽으로 스윙된다.

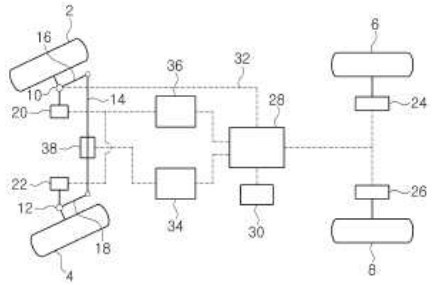
■ 한국등록특허 KR940896 대응 특허

<표 2.3.12> ATS사의 한국등록특허(KR94086) 대응 특허

특허번호	대표 청구항
KR940896	청구항 1 구조물의 도어 개구에 대하여 개방 위치와 폐쇄 위치 간의 변위를 위해 상기 구조물에 장착된 도어에 있어서, 상기 도어와 상기 구조물을 연결하는 제1 및 제2 가이드 수단을 포함하며, 상기 제1 가이드 수단은 상기 개방 위치로의 이동에 대한 상기 도어의 리딩 에지(leading edge)가 상기 구조물에 고정된 축에 대하여 아치형으로 이동하게 하고, 상기 제2 가이드 수단은 상기 도어의 트레일링 에지(trailing edge)가 상기 도어 개구의 평면에 평행하게 선형 이동하게 하는 것을 특징으로 하는 도어.
US7364219	1. A door mounted on a structure comprising a vehicle body for displacement between an open position and a closed position with respect to a door aperture in the structure, the structure having at least an outer skin and the door being connected to the structure by first guide means, which constrains a leading edge of the door, with respect to movement towards the open position, to execute an arcuate movement about an axis which is fixed to the structure, and by second guide means, which constrains a trailing edge of the door to execute a linear movement substantially parallel to the plane of the door aperture such that the trailing edge of the door remains substantially in the plane of the door aperture, the second guide means comprising a guide element mounted adjacent the trailing edge of the door, the guide element engaging a guide track disposed in a channel formed in the outer skin, the guide track being fixed to the structure.
EP1467880	1. A door assembly mountable on a structure (2), the comprising a door (6) for displacement between an open position and a closed position with respect to a door aperture (4) in the structure, the assembly further comprising first guide mean the door being connectable to the structure by these first guide means (12), which constrains a leading edge (8) of the door, with respect to movement towards the open position to execute an arcuate movement about an axis (16) which is fixable to the structure the door assembly being characterised in that it further comprises second guide means, the door (6) being further connectable to the structure by, these second guide means (14), which constrains a trailing edge (10) of the door to execute a linear movement substantially parallel to the plane of the door aperture.
JP04593112	【청구항 1】 구조체의 도어 개구에 대하여 열림 위치와 폐위치와의 사이에서 변위할 수 있도록 차량 보디로 되는 구조체에 설치되는 도어에 있어서,그 도어는,구조체에 고정되는 축 선의 주변의 반달 모양 이동을 행하게 하도록,열림 위치를 향하는 이동에 대하여 도어의 전연부를 구속하는 제1 가이드 수단과,도어의 후연(after-edge)부가 거의 도어 개구의 평면내에 머물게 하고,도어 개구의 평면에 대하여 거의 평행한 직선적 이동을 행하게 하도록,도어의 후연(after-edge)부를 구속하는 제2 가이드 수단에 의해 구조체에 연결되고,상기 제2 가이드 수단은,도어의 후연(after-edge)부에 인접하고 설치되는 가이드 요소를 가지고,그 가이드 요소는 상기 구조체에 고정되는 가이드 트럭이라고 계합하는 것을 특징으로 하는 도어.
WO2003061999	1. A door mounted on a structure for displacement between an open position and a closed position with respect to a door aperture in the structure, the door being connected to the structure by first guide means, which constrains a leading edge of the door, with respect to movement towards the open position, to execute an arcuate movement about an axis which is fixed to the structure, and by second guide means, which constrains a trailing edge of the door to execute a linear movement substantially parallel to the plane of the door aperture.

② 한국공개특허 KR2009006860

<표 2.3.13> ATS사의 한국공개특허(KR2009006860) 요약

출원번호	10-2008-7028335	공개번호	KR2009006860	법적상태	공개
출원일자	2008-11-20	공개일자	2009-01-15	권리만료	2028-11-20
국제특허분류	G05D 비전기적 변량의 제어 또는 조정계				
명칭	무인 차량용 조정 장치				
대표도면					

무인 차량은, 예를 들어, 고속 승객 운송 (passenger rapid transport; PRT) 시스템용으로서, 스티어링 모터(38)에 의해서 구동되는 트랙 로드(14)를 포함하는 접속과 드라이브 모터들(20,22)에 의해 인가되는 상이한 토크에 의해 둘 다 조종가능한 조향 휠들(2,4)을 구비한다. 모터들(20,22,38)은 희망 경로로부터의 차량 이탈을 나타내는 신호들에 응답하여 제어된다. 모터(28)나 모터들(20,22) 중 어느 하나가 고장나면, 남은 모터들에 의해서 스티어링이 유지될 수 있다.

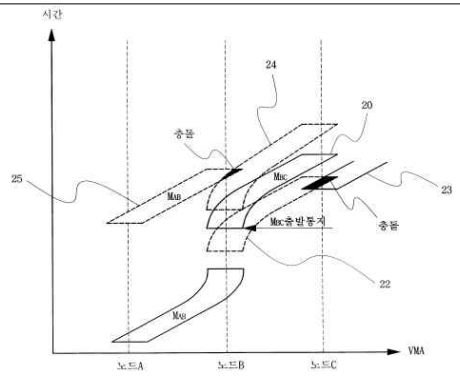
■ 한국공개특허 KR2009006860 대응 특허

<표 2.3.14> ATS사의 한국공개특허(KR2009006860) 대응 특허

특허번호	대표 청구항
KR2009006860	청구항 1 스티어링 매커니즘에 의해 각각의 드라이브 축들에 대해 구동가능하고 각각의 스티어링 축들에 대해 조향가능한 조향 휠들로서, 상기 휠들의 스티어링 기하 구조가, 상기 조향 휠들에 인가되는 드라이브 토크에 있어서의 차이가 상기 스티어링 축들에 대한 네트 스티어링 토크들을 생성하도록
	되어 있는, 복수 개의 조향 휠들과, 상기 스티어링 매커니즘과 상기 조향 휠들 각각에 인가되는 상기 드라이브 토크를 제어하기 위해 제공되며 각 조향 휠의 스티어링 각도, 차량의 희망 주행 경로 및 상기 차량의 실제 주행 경로를 나타내는 신호들에 응답하는 제어 수단을 포함하는 무인 차량.
EP2010980	1. A driverless vehicle comprising at least two steered wheels which are driveable about respective drive axes and steerable about respective steering axes by a steering mechanism, the steering geometry of the wheels being such that differences in drive torque applied to the steered wheels generate net steering torques about the steering axes, control means being provided for controlling the steering mechanism and the drive torque applied to each of the steered wheels, the control means being responsive to signals representing the steering angle of each steered wheel, a desired travel path of the vehicle and an actual travel path of the vehicle.
WO2007125283	1. A driverless vehicle comprising at least two steered wheels which are driveable about respective drive axes and steerable about respective steering axes by a steering mechanism, the steering geometry of the wheels being such that differences in drive torque applied to the steered wheels generate net steering torques about the steering axes, control means being provided for controlling the steering mechanism and the drive torque applied to each of the steered wheels, the control means being responsive to signals representing the steering angle of each steered wheel, a desired travel path of the vehicle and an actual travel path of the vehicle.

③ 한국공개특허 KR2008017377

<표 2.3.15> ATS사의 한국공개특허(KR2008017377) 요약

출원번호	10-2007-7029823	공개번호	KR2008017377	법적상태	공개
출원일자	2007-12-21	공개일자	2008-02-26	권리만료	2027-12-21
국제특허분류	G05D 비전기적 변량의 제어 또는 조정계				
명칭	이동 제어 방법				
대표도면					

시스템 내에서 바디의 이동을 제어하는 방법은 (가) 제1 노드(B)와 제2 노드(C) 사이에 상기 바디를 위한 경로를 선택하는 단계와, (나) 상기 시스템의 다른 바디의 이동 엔벌로우프(23, 25)와 충돌하지 않는 경로를 따라 상기 바디를 위한 바람직한 이동 엔벌로우프(20)를 결정하는 단계와, (다) 상기 경로 및 상기 바람직한 이동 엔벌로우프의 개시 시간을 상기 바디에 전송하는 단계와, (라) 상기 바디가 상기 개시 시간에서 상기 선택 경로를 따른 진행을 개시하게 하는 단계를 포함한다.

■ 한국공개특허 KR2008017377 대응 특허

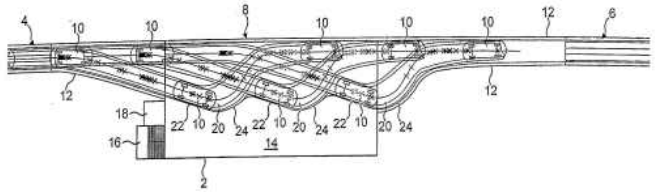
<표 2.3.16> ATS사의 한국등록특허(KR2008017377) 대응 특허

특허번호	대표 청구항
KR2008017377	청구항 1 시스템 내에서 바디의 이동을 제어하는 방법에 있어서, (가) 제1 노드와 제2 노드 사이에 상기 바디를 위한 경로를 선택하는 단계와, (나) 상기 시스템의 다른 바디의 이동 엔벌로우프와 충돌하지 않는 상기 경로를 따라 상기 바디를 위한 바람직한 이동 엔벌로우프를 결정하는 단계와, (다) 상기 경로 및 상기 바람직한 이동 엔벌로우프의 개시 시간을 상기 바디에 전송하는 단계와, (라) 상기 바디가 상기 개시 시간에서 상기 선택 경로를 따른 진행을 개시하게 하는 단계를 포함하는 방법. 청구항 14 복수의 이동가능한 바디들을 포함하며, 상기 이동가능한 바디들의 이동이 제 1 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 따른 방법에 의해서 제어되는 시스템.
US20100168948	1. A method for controlling movement of a body within a system comprising: a) selecting a path for the body between a first node and a second node,b) determining a desired movement envelope for the body along the path that does not conflict with the movement envelope of any other body of the system,c) communicating the path and the start time of the desired movement envelope to the body, andd) causing the body to begin travelling over the selected path at the start time. 14. A system comprising a plurality of movable bodies, the movements of which are controlled by a method in accordance with any one of the preceding claims.
EP1896912	1. A method for controlling movement of a body within a system comprising: a) selecting a path for the body between a first node and a second node, b) determining a desired movement envelope for the body along the path that does not conflict with the movement envelope of any other body of the system, c) communicating the path and the start time of the desired movement envelope to the body, and d) causing the body to begin travelling over the selected path at the start time. 14. A system comprising a plurality of movable bodies, the movements of which are controlled by a method in accordance with any one of the preceding claims.
WO2006136855	1. A method for controlling movement of a body within a system

특허번호	대표 청구항
	comprising: a) selecting a path for the body between a first node and a second node, b) determining a desired movement envelope for the body along the path that does not conflict with the movement envelope of any other body of the system, c) communicating the path and the start time of the desired movement envelope to the body, and d) causing the body to begin travelling over the selected path at the start time. 14. A system comprising a plurality of movable bodies, the movements of which are controlled by a method in accordance with any one of the preceding claims.

④ 한국공개특허 KR2006007382

<표 2.3.17> ATS사의 한국공개특허(KR2006007382) 요약

출원번호	10-2005-7019278	공개번호	KR2006007382	법적상태	공개
출원일자	2005-10-10	공개일자	2006-01-24	권리만료	2025-10-10
국제특허분류	B61B 철도 방식; 달리 분류되지 않는 설비 B60L 전기적 추진차량의 전기장치 또는 추진장치, 차량용 자기적 현가 또는 부양장치, 차량용 전기적 제동방식일반				
명칭	개인용 고속 운반 시스템용 스테이션 설계				
대표도면					

개인 고속 운반 시스템의 스테이션(2)은 주차된 차량(10)을 위한 베이(20)를 한정하는 플랫폼(14)을 구비한다. 주차된 차량은 진입구역(4)와 출발구역(6)사이에 연장된 이동 경로에서 이동하는 차량들의 경로에서 벗어나있다. 상기 베이(10)는 주차구역(22)을 포함하며, 이를 따라 차량들이 주차할 수 있으므로 차량으로 승객들이 쉽게 승하차할 수 있다.

주차구역(22)의 배치로 인해 차량(10)들이 플랫폼 가장자리에 가깝게 주차할 수 있다. 스테이션은 주요 트랙(30)에서 분기된 여러 모양의 우회 트랙(36)으로 이루어진다.

■ 한국공개특허 KR2006007382 대응 특허

<표 2.3.18> ATS사의 한국공개특허(KR2006007382) 대응 특허

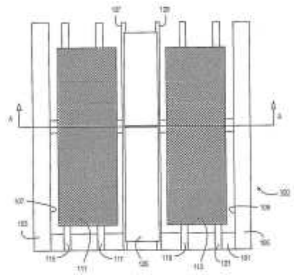
특허번호	대표 청구항
KR2006007382	청구항 1. 선로부의 폭이 승강장에 대하여 주차된 차량에 의해 방해되지 않고 차량의 일반적인 이동 방향인 이동 경로를 따라 이동할 수 있도록 개인 고속 운반 시스템의 이동 차량을 위해 충분하고, 상기 승강장은 상기 이동 경로에 대해 평행하는 방향으로 확장되어 있으며, 승강장에 의해 적어도 한 방향에 인접된 안내로 부분, 및 주차된 차량을 수용하는 다수의 베이(bay)를 포함하며, 각각의 베이는 승강장 에지의 각각의 주차 구획으로 경계되어 있으며, 상기 주차 구획은 상기 이동 경로까지 경사지어 확장되어 있으며, 여기서 상기 시스템으로 운전되는 차량은 상기 이동 경로로부터 이동할 수 있으며, 상기 차량의 전방 이동 방향은 유지하면서 동시에 정확한 각도를 이용하여 이동 경로로부터 회전함으로써 각각의 베이의 승강장 가장자리의 구역에 주차할 수 있는 개인 고속 운반 시스템의 스테이션.
US7681505	1. A personal rapid transit system comprising a dedicated guideway on which individual steered passenger vehicles travel between stations, a station of the system comprising a portion of the guideway bounded on at least one side by a platform, the width of the guideway portion being sufficient for traveling vehicles of the system to travel along a transit path in normal travel direction of the vehicles unobstructed by vehicles parked on the guideway against the platform, the platform extending generally parallel to the transit path and comprising a plurality of bays for receiving parked vehicles, each bay being defined by a respective parking section of the platform edge and accessible only via a dedicated exit path off of the guideway for a corresponding steered vehicle, which parking section extends obliquely to the transit path, whereby the same steered vehicle of the system can move from and return to the

특허번호	대표 청구항
	transit path while maintaining a forward travel direction of the vehicle, and park against the parking section of the platform edge of a respective one of the bays by turning from the transit path through an acute angle, the return of the same steered vehicle to the transit path only via a dedicated re-entry path different from the exit path, the parking sections of adjacent bays being connected to each other by a transition section which extends from the front end of one of the parking sections to the rear end of the other.
EP1613813	1. A personal rapid transit system comprising a dedicated guideway (4, 6, 8) on which individual steered passenger vehicles (10) travel between stations, a station (2) of the system comprising a portion (8) of the guideway (4, 6, 8) bounded on at least one side by a platform (14), the width of the guideway portion (8) being sufficient for travelling vehicles (10) of the system to travel along a transit path in the normal travel direction of the vehicles (10) unobstructed by vehicles (10) parked on the guideway against the platform (14), the platform (14) extending generally parallel to the transit path and comprising a plurality of bays (20) for receiving parked vehicles (10), each bay (20) being defined by a respective parking section (22) of the platform edge, which parking section (22) extends obliquely to the transit path, whereby a steered vehicle (10) of the system can move from the transit path while maintaining a forwards travel direction of the vehicle (10), to park against the parking section (22) of the platform edge of a respective one of the bays (20) by turning from the transit path through an acute angle, the parking sections (22) of adjacent bays (20) being connected to each other by a transition section (24) which extends from the front end of one of the parking sections (22) to the rear end of the other.
JP04486083	【청구항 1】 퍼스널 고속 수송 시스템이고, 조타되는 개인 이용하고 야량이 스테이션간에서 이동하는 전용 안내로를 가지고, 상기 시스템의 스테이션은,적어도 한쪽이 플랫폼에 의하여 경계가 정하게 되는 안내로의

특허번호	대표 청구항
	부분을 가지고, 상기 안내로 부분의 폭은,시스템의 차량을 플랫폼에 주야 한 차량에 따라서 방해되는 일없이 이동 경로에 따라 차량의 통상의 이동 방향에 이동시키는데도 충분하고, 상기 플랫폼은 상기 이동 경로에 거의 평행에 늘어나고,주 야 하는 차량을 받아들이기 위한 복수의 만을 가지고, 상기 만의 각각은,상기 이동 경로에 대하여 비스듬하게 늘어나는 플랫폼 연부의 각각의 주 야세쿠숀에 따라서 정하게 되고, 시스템의 조타 되는 차량은,그 야량의 전진 이동 방향을 유지하면서,상기 이동 경로로부터 예각인 조타량으로 선회하는 것에 의해 상기 만의 각각의 플랫폼 연부의 상기주 야세쿠숀에 주 야 할 수 있게 되고, 인접하는 만의 주 야세쿠숀이 한편의 주 야세쿠숀의 전단으로부터 한편의 주 야세쿠숀의 후단까지 늘어나는 천이 섹션에 따라서 서로 접속된다, 퍼스널 고속 수송 시스템.
WO2004089679	1. A station in a personal rapid transit system, the station comprising a guideway portion bounded on at least one side by a platform, the width of the guideway portion being sufficient for travailing vehicles of the system to travel along a transit path in normal travel direction of the vehicles unobstructed by vehicles parked against the platform, the platform extending generally parallel to the transit path, and comprising a plurality of bays for receiving parked vehicles, each bay being defined by a respective parking section of the platform edge, which parking section extends obliquely to the transit path, whereby a steered vehicle of the system can move from the transit path; while maintaining a forwards travel direction of the vehicle, to park against the section of the platform edge of a respective one of the bays by turning from the transit path through an acute angle.

⑤ 한국공개특허 KR2010131415

<표 2.3.19> ATS사의 한국공개특허(KR2010131415) 요약

출원번호	10-2010-7009903	공개번호	KR2010131415	법적상태	공개
출원일자	2008-10-17	공개일자	2010-12-15	권리만료	2028-10-17
국제특허분류	E01B 비등; 비등장치				
명칭	고속 개인 수송 시스템용 트랙웨이				
대표도면					

미리 만들어진 격자형 구조물들로 형성된 트랙 부재들을 포함하는 고속 개인 수송 시스템용 트랙웨이로서 미리 만들어진 격자형 구조물은 섬유강화 플라스틱 등으로 형성될 수 있다.

■ 한국공개특허 KR2010131415 대응 특허

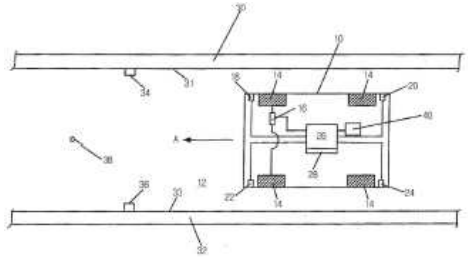
<표 2.3.20> ATS사의 한국공개특허(KR2010131415) 대응 특허

특허번호	대표 청구항
KR2010131415	청구항 1 고속 개인 수송 시스템용 트랙웨이에 있어서, 사용시 상기 시스템의 차량의 바퀴가 주행하는 주행면을 갖는 트랙을 포함하며, 상기 주행면이 미리 만들어진 격자형 구조물을 포함하는 것을 특징으로 하는 트랙웨이. 청구항 15 제 1 항 내지 제 14 항 중 어느 한 항에 따른 바와 같은 트랙웨이를 포

특허번호	대표 청구항
	함하는 고속 개인 수송 시스템.
US20110042474	16. A trackway for a personal rapid transport system, the trackway comprising a track having a preformed grid-like structure which comprises a running surface along which, in use, run wheels of vehicles of the system, wherein the track is flexible and is formed from a fibre-reinforced plastics material. 28. A personal rapid transport system, comprising: wheeled vehicles,a track having a preformed grid-like structure including a track running surface for engaging one or more wheels of the wheeled vehicles, wherein the track is flexible and formed from fiber-reinforced plastic.
EP2203594	1. A trackway for a personal rapid transport system, the trackway comprising a track having a running surface along which, in use, run wheels of vehicles of the system, characterized in that the running surface comprises a preformed grid-like structure. 15. A personal rapid transport system comprising a trackway as claimed in any one of the preceding claims.
WO2009050491	1. A trackway for a personal rapid transport system, the trackway comprising a track having a running surface along which, in use, run wheels of vehicles of the system, characterized in that the running surface comprises a preformed grid-like structure. 15. A personal rapid transport system comprising a trackway as claimed in any one of the preceding claims.

⑥ 한국공개특허 KR2010015741

<표 2.3.21> ATS사의 한국공개특허(KR2010015741) 요약

출원번호	10-2009-7021916	공개번호	KR2010015741	법적상태	공개
출원일자	2008-04-10	공개일자	2010-02-12	권리만료	2028-04-10
국제특허분류	G05D 비전기적 변량의 제어 또는 조정계				
명칭	차량 안내 시스템				
대표도면					

사전 결정된 경로를 따라 차량(10)을 안내하는 차량 안내 시스템은 내장 컴퓨터(26), 다수의 거리 센서들(18,20, 22, 24) 및 컴퓨터에 의해 제어 가능한 스티어링 시스템(16)을 포함한다. 사전 결정된 경로는 컴퓨터(26)의 메모리(28) 내에 저장되고, 동작 시, 스티어링 시스템은 사전 결정된 경로를 따라가도록 제어된다. 센서들(18,20, 22, 24)은 사전 결정된 경로를 따라 제공되는 연석들(30, 32)과 센서들 간의 차량 주행 방향(A)에 대한 측면방향 거리를 측정하도록 구성되며, 컴퓨터(26)는 스티어링 시스템(16)을 제어하여 센서들에 의해 검출되는 사전 결정된 경로로부터의 측면 방향 이탈을 교정하도록 구성된다.

■ 한국공개특허 KR2010015741 대응 특허

<표 2.3.22> ATS사의 한국공개특허(KR2010015741) 대응 특허

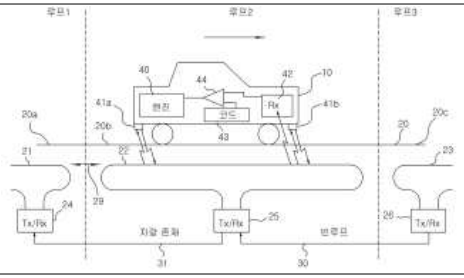
특허번호	대표 청구항
KR2010015741	청구항 1 사전 결정된 경로를 따라 기준 표면(31, 33)을 구비한 높은 구조물(30, 32)이 연장되며 상기 사전 결정된 경로를 따라 차량(10)을 안내하는 차량 안내 시스템으로서, 제어 수단(26)과, 상기 사전 결정된 경로를 저장하는 메모리(28)와, 상기 사전 결정된 경로를 따라 제공되는 상기 기준 표면(31, 33)과 상기 센서(18, 20, 22, 24) 간의 상기 차량 주행 방향(A)에 대한 측면 방향의 거리를 측정하는 센서(18, 20, 22, 24)를 포함하고, 상기 제어 수단(26)은, 상기 센서(18, 20, 22, 24)로부터의 출력에 대한 응답으로, 상기 차량(10)의 스티어링 시스템(16)을 제어하여 상기 사전 결정된 경로로부터 상기 차량(10)의 측면 방향 이탈을 교정하도록 구성되는 차량 안내 시스템. 청구항 10 트랙도로(12)로서, 상기 트랙도로(12)의 각 측면을 따라 연장하는 높은 구조물(30, 32)을 구비한 트랙도로와, 상기 트랙도로(12)를 따라 주행하는 차량(10)과, 제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 따른 차량 안내 시스템을 구비하는 개인 고속 수송 시스템. 청구항 13 사전 결정된 경로를 따라 기준 표면(31, 33)을 구비한 높은 구조물(30, 32)이 연장되며 상기 사전 결정된 경로를 따라 차량을 안내하는 방법으로서, (a) 상기 차량(10)과 기준 표면(31, 33) 간의 상기 차량(10)의 측면 방향의 거리를 감지하는 단계와, (b) 상기 감지된 거리와 저장된 거리 값을 비교하는 단계와, (c) 상기 센서(18, 20, 22, 24)로부터의 출력에 대한 응답으로 상기 차량(10)의 스티어링 시스템을 제어하여 상기 사전 결정된 경로로부터의 상기 차량(10)의 측면 방향 이탈을 교정하는 단계를 포함하는 차량 안내 방법.
EP2140322	1. A vehicle guidance system for directing a vehicle along a predetermined path, the system comprising a control means, a memory for storing the predetermined path, and a sensor which is adapted to measure the distance, laterally of the vehicle travel direction, between the sensor and a reference surface provided along the predetermined path, the control means being adapted to control a steering system of the vehicle to correct any lateral deviation of the vehicle from the predetermined path in response to an output from the sensor. 12. A method of guiding a vehicle along a predetermined path, comprising the steps of; (a) sensing a distance laterally of the

특허번호	대표 청구항
	vehicle between the vehicle and a reference surface, (b) comparing the sensed distance with a stored distance value, and (c) controlling a steering system of the vehicle to correct any lateral deviation of the vehicle from the predetermined path in response to an output from the sensor.
WO2008129236	1. A vehicle guidance system for directing a vehicle along a predetermined path, the system comprising a control means, a memory for storing the predetermined path, and a sensor which is adapted to measure the distance, laterally of the vehicle travel direction, between the sensor and a reference surface provided along the predetermined path, the control means being adapted to control a steering system of the vehicle to correct any lateral deviation of the vehicle from the predetermined path in response to an output from the sensor. 12. A method of guiding a vehicle along a predetermined path, comprising the steps of; (a) sensing a distance laterally of the vehicle between the vehicle and a reference surface, (b) comparing the sensed distance with a stored distance value, and (c) controlling a steering system of the vehicle to correct any lateral deviation of the vehicle from the predetermined path in response to an output from the sensor.
US20100145550	19. A vehicle guidance system for directing a vehicle having a steering system along a predetermined path, the system comprising: an elevated structure which extends along the predetermined path;a reference surface provided on the elevated structure and extending along the predetermined path;a control means;a memory for storing the predetermined path; anda sensor which is adapted to measure the distance, laterally of the vehicle travel direction, between the sensor and the reference surface, the control means being adapted to control the steering system of the vehicle to correct any lateral deviation of the vehicle from the predetermined path in response to an output from the sensor. 28. A personal rapid transport system comprising: a trackway;elevated

특허번호	대표 청구항
	structures extending along each side of the trackway;a vehicle for travelling along the trackway, the vehicle having a steering system;reference surfaces provided on the elevated structures and extending along the predetermined path;a control means;a memory for storing the predetermined path; anda sensor which is adapted to measure the distance, laterally of the vehicle travel direction, between the sensor and the reference surface, the control means being adapted to control the steering system of the vehicle to correct any lateral deviation of the vehicle from the predetermined path in response to an output from the sensor. 29. A vehicle comprising: a steering system;a control means;a memory for storing a predetermined path; anda sensor which is adapted to measure the distance, laterally of the vehicle travel direction, between the sensor and a reference surface provided on an elevated structure and extending along the predetermined path,wherein the control means is adapted to control the steering system of the vehicle to correct any lateral deviation of the vehicle from the predetermined path in response to an output from the sensor. 31. A method of guiding a vehicle along a predetermined path along which extends an elevated structure having a reference surface, comprising the steps of: (a) sensing a distance laterally of the vehicle between the vehicle and the reference surface,(b) comparing the sensed distance with a stored distance value, and(c) controlling a steering system of the vehicle to correct any lateral deviation of the vehicle from the predetermined path in response to an output from the sensor.

⑦ 한국공개특허 KR2010065270

<표 2.3.23> ATS사의 한국공개특허(KR2010065270) 요약

출원번호	10-2010-7000619	공개번호	KR2010065270	법적상태	공개
출원일자	2007-07-10	공개일자	2010-06-16	권리만료	2027-07-10
국제특허분류	B61L 철도 교통의 안내; 철도 교통의 보안				
명칭	자동의 차량 유도 보호 시스템				
대표도면					

자동화된 차량 보호 시스템은 가이드웨이(20), 차량(10), 가이드웨이 루프 안테나(21), 그리고 차량(10)에 탑재되어 있는 트랜스폰더(41a, 41b)를 포함하여 제공된다. 수단(24, 25)은 차량(10)으로부터 신호를 수신하고 가이드웨이(20)의 구역에서 차량의 이동을 금지하기 위한 금지 신호를 생성하기 위하여, 가이드웨이 루프 안테나(21)에 결합되어 제공된다. 금지 신호는 다른 가이드웨이 루프 안테나(22, 23)로부터 신호의 송신을 제어하기 위해 다른 가이드웨이 루프 안테나(22, 23)와 연계되어 있는 회로로 전달될 수 있다.

■ 한국공개특허 KR2010065270 대응 특허

<표 2.3.24> ATS사의 한국공개특허(KR2010065270) 대응 특허

특허번호	대표 청구항
KR2010065270	청구항 1 경로를 따라 차량을 유도하는 가이드웨이, 상기 경로를 따라 유도되는 차량, 상기 차량과 송, 수신 신호를 주고 받기 위한 제1 가이드웨이 루프 안테나, 그리고 상기 가이드웨이 루프 안테나로부터 신호를 수신하고 상기 가이드웨이 루프 안테나로 응답을 송신하기 위해 상기 차량에 탑재되는 트랜스폰더를 포함하는 자동화된 차량 보호 시스템.

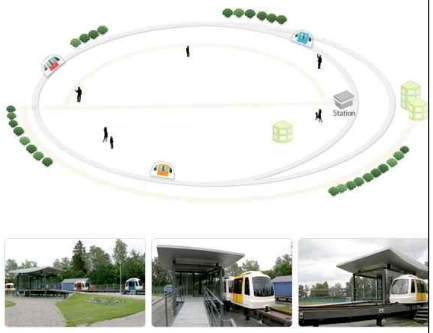
특허번호	대표 청구항
	청구항 8 제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 따른 상기 시스템에 사용되고, 가이드웨이 루프 안테나로부터 신호를 수신하고 그것에 응답하기 위한 트랜스폰더를 포함하는 차량.
EP2164743	1. The vehicle protection system which becomes with automation including the guide way inducing the vehicles according to route, the vehicles induced according to route, the vehicles and Song, and the first guide way loop antenna for receiving it decreases the received signal and the transponder, and the first guide way loop antenna for receiving it decreases the received signal and the transponder is loaded on the vehicles so that it receive signal from the guide way loop antenna and it transmit response to the guide way loop antenna.

(2) Posco(Vectus)

Posco는 2005년 2월 영국에 Vectus 본사를 설립하고 현재 스웨덴과 한국에 지사를 설치하여 운영 중에 있다. 스웨덴 지사는 기술개발과 유럽, 북미, 그리고 중동 지역 영업을 담당하고 한국지사는 본사 기능 및 아시아 지역 영업을 총괄하고 있다.

PRT 시스템의 기술컨셉 및 안전성, 신뢰성 등을 검증하기 위하여 스웨덴 웁살라(Uppsala)지역에 시험선(Test Track)을 건설하고 시험운행을 실시하였다. 2006년에 착공한 벡터스 시험선은 2007년 중순에 완공되어 2007년 12월 스웨덴 철도청의 안전인증을 획득하였으며, 이를 바탕으로 2008년 일반인을 대상으로 한 운영승인을 획득하였다.

<표 2.3.25> Posco(Vectus)의 PRT 시스템

회사명	Posco(Vectus)
PRT 분야 주요 보유 기술	
	- 자회사로 Vectus가 있음 - 스웨덴에 테스트 트랙을 건설 - 속도 : 12.5 m/s - Headway : 3 sec (at 12.5 m/s) _ Max. Acceleration : ±2.5 m/s2 - Max. Lateral Acceleration :1.5 m/s2 - Emergency Braking : -0.05 g - Gradient : 100 ‰ - Capacity : Short term capacity close to 1,200 vehicles per hour on a single track segment at 12.5 m/s. - Min. Turning Radius : 10 m (steered vehicle), 20 m (non-steered vehicle) - Speed in curves : Restricted by passenger comfort only. Track can be easily cambered to allow higher speed in curves

(가) 보유 지재권 포트폴리오 현황

Posco는 PRT 기술분야의 주요 출원인으로서, 표 2.3.26은 Posco의 PRT 분야 특허 목록을 나타낸 것이다.

<표 2.3.26> Posco의 PRT 분야 특허

No	Publication Number	Application Date	Inventor	Title
1	EP2021221	2007-05-11	CHO, Hyoung Min	Method and Apparatus for Control and Safe Braking in Personal Rapid Transit Systems with Linear Induction Motors
2	KR893247	2007-08-20	CHO, HYOUNG MIN	Wireless Control Apparatus for The Personal Rapid Transit Including Comunications Device in Which the B-CDMA Module is Equipped
3	KR2009122847	2008-05-26	WON, JIN MYUNG	Method and a System for Merging Control in an Automated Vehicle System Capable of Preventing Stop before Merging of a Vehicle
4	KR2009122848	2008-05-26	INGMAR ANDREASSON	Platooning Method of Vehicle in an Automated Vehicle System Capable of Increasing Track Capacity
5	US20090099715	2008-11-06	Cho, Hyoung Min	Method and Apparatus for Control and Safe Braking in personal rapid transit Systems with Linear Induction Motors
6	KR2009017514	2008-11-10	CHO, Hyoung Min	Method and Apparatus for Control and Safe Braking in Personal Rapid Transit Systems with Linear Induction Motors
7	KR1059556	2009-03-18	JANG, YONG HWAN	Method for Controlling a Path of an In-track Type PRT Vehicle, Capable of Reducing the Load of a Central Control Device
8	KR1021977	2009-03-19	KIM, HYUN SOO	Simple Structure the Line Divergence for the Personal Rapid Transit Vehicles Performing the Operation Quick and Exact and Joining Apparatus

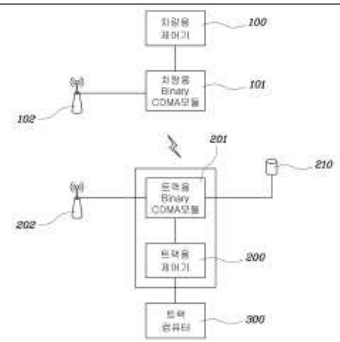
No	Publication Number	Application Date	Inventor	Title
9	KR1065463	2009-05-11	KIM, Hyun Soo	Understructure of a Vehicle for a Personal Rapid Transit System, Capable of Preventing Malfunction due to Error
10	EP2294565	2009-05-26	WON, Jin Myung	Method and System for Merge Control in an Automated Vehicle System AUTOMATISÉ DE VÉHICULES
11	KR2010127518	2009-05-26	INGMAR ANDREASSON	Method for Controlling the Dynamic Route Distribution of Vehicle in an Automatic Driving Vehicle System, Capable of Efficiently Resteering the Route of Vehicles at Traffic Congestion
12	EP2285639	2009-05-26	ANDREASSON, Ingmar	Method for Platooning of Vehicles in an Automated Vehicle System
13	KR2010137169	2009-06-22	INGMAR ANDREASSON	Method for Group-running Vehicles in an Automated Vehicle System to Increase the Track Capacity of a Personal Rapid Transit System
14	KR1076494	2010-10-27	Kim, Ki Jeong	The PRT System Supporting the Control Method of the PRT System and Method Thereof.
15	US20110125350	2011-02-09	Won, Jin Myung	Method and System for Merge Control in an Automated Vehicle System
16	US20110184596	2011-04-13	Andreasson, Ingmar	Method for Platooning of Vehicles in an Automated Vehicle System

Posco는 한국 기업으로 자회사로 Vectus를 두고 있으며, 한국을 중심으로 특허 출원이 이루어졌으며, 주요 발명자로는 조형민, Andreasson, Ingmar, 김현수, 원진명 등이 있다.

(나) 보유 지재권 권리범위 분석

① 한국등록특허 KR2009122847

<표 2.3.27> Posco(Vectus)의 한국등록특허(KR2009122847) 요약

출원번호	10-2007-0083495	등록번호	KR2009122847	법적상태	등록
출원일자	2007-08-20	등록일자	2009-04-06	권리만료	2027-08-20
국제특허분류	B61L 철도 교통의 안내; 철도 교통의 보안				
명칭	소형 궤도차량용 무선제어 장치				
대표도면					

본 발명은 무선 신호를 송/수신하는 무선 셀을 한 대의 소형 궤도차량과 무선통신 할 수 있는 소규모로 연속되게 구성하고, B-CDMA(Binary Code Division Multiple Access) 방식으로 무선 셀을 이동하는 소형 궤도차량과 무선 통신하여 고속으로 주행하는 소형 궤도차량의 주행을 제어 할 수 있는 소형 궤도차량용 무선제어 장치에 관한 것으로서, 그 특징적인 구성은 소형 궤도차량(400)에 설치되는 차량용 제어기(100)와, 상기 차량용 제어기(100)와 전기적으로 연결되어 신호를 변환하는 차량용 B-CDMA모듈(101)과, 상기 차량용 B-CDMA모듈(101)과 전기적으로 연결되어 신호를 송/수신하는 차량용 안테나(102)와, 상기 소형 궤도차량(400)를 감지하도록 트랙의 일측에 설치된 트랙센서(210)와, 상기 트랙센서(210)에 전기적으로 연결되어 제어 신호를 발생시키는 트랙용 제어기(200)와, 상기 트랙용 제어기(200)에 전기적으로 연결되어 신호를 변환하고 트랙에 소규모 무선 셀(200a)을 형성하는 트랙용 B-CDMA모듈(201)과, 상기 트랙용 B-CDMA모듈(201)과 전기적으로 연결되어 신호를 송/수신하는 트랙용 안테나(202)를 포함한다.

상기 트랙용 제어기(200)는 한 대의 소형 궤도차량(400)을 수용할 수 있는 소규모의 무

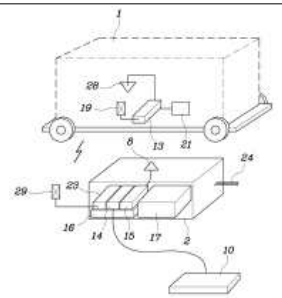
선 셀(200a)이 인접된 무선 셀(200a)과 서로 중첩되게 형성되도록 트랙 상에 복수개가 설치되고, 복수개의 트랙용 제어기(200)는 트랙용 컴퓨터(300)에 전기적으로 연결되며, 상기 트랙용 B-CDMA모듈(201)은 소형 궤도차량(400) 별로 고유한 스캔 코드를 생성하고, 이 스캔 코드가 일치하는 경우에만 상기 차량용 B-CDMA모듈(101)과의 사이에 무선링크가 이루어지도록 구성된다.

<표 2.3.28> Posco(Vectus)의 한국등록특허(KR2009122847) 대표 청구항

특허번호	대표 청구항
KR2009122847	청구항 1 소형 궤도차량(400)에 설치되는 차량용 제어기(100)와, 상기 차량용 제어기(100)와 전기적으로 연결되어 신호를 변환하는 차량용 B-CDMA모듈(101)과, 상기 차량용 B-CDMA모듈(101)과 전기적으로 연결되어 신호를 송/수신하는 차량용 안테나(102)와, 상기 소형 궤도차량(400)를 감지하도록 트랙의 일측에 설치된 트랙센서(210)와, 상기 트랙센서(210)에 전기적으로 연결되어 제어 신호를 발생시키는 트랙용 제어기(200)와, 상기 트랙용 제어기(200)에 전기적으로 연결되어 신호를 변환하고 트랙에 소규모 무선 셀(200a)을 형성하는 트랙용 B-CDMA모듈(201)과, 상기 트랙용 B-CDMA모듈(201)과 전기적으로 연결되어 신호를 송/수신하는 트랙용 안테나(202)를 포함하고; 상기 트랙용 제어기(200)는 한 대의 소형 궤도차량(400)을 수용할 수 있는 소규모의 무선 셀(200a)이 인접된 무선 셀(200a)과 서로 중첩되게 형성되도록 트랙 상에 복수개가 설치되고, 복수개의 트랙용 제어기(200)는 트랙용 컴퓨터(300)에 전기적으로 연결되며; 상기 트랙용 B-CDMA모듈(201)은 소형 궤도차량(400) 별로 고유한 스캔 코드를 생성하고, 이 스캔 코드가 일치하는 경우에만 상기 차량용 B-CDMA모듈(101)과의 사이에 무선링크가 이루어지도록 해주는 것을 특징으로 하는 소형 궤도차량용 무선제어장치.
US20110125350	1. A method of controlling merging of a plurality of streams of vehicles in an automated vehicle system, the automated vehicle system including a network of tracks along which the vehicles are adapted to travel, the network including at least one merge point at which at least two upstream tracks merge to form a downstream track, the method comprising: defining a merge control zone associated with the merge point, the merge control zone defining at least respective sections of the upstream tracks;detecting a vehicle entering the merge control zone on a first one of the upstream tracks, the vehicle being a vehicle of a sequence of one or more vehicles approaching the merge point on said first upstream track;allocating a passage time to the detected vehicle, the passage time being indicative of a time at which the vehicle is scheduled to pass the merge point; wherein allocating the passage time is based on a merge priority assigned to the vehicle according to a predetermined set of merge priority rules;controlling a speed of the vehicle responsive to the allocated passage time. 15. A control system for controlling merging of a plurality of streams of vehicles in an automated vehicle system, the automated vehicle system including a network of tracks along which the vehicles are adapted to travel, the network including at least one merge point at which at least two upstream tracks merge to form a downstream track, the system comprising: means for detecting a vehicle entering a merge control zone associated with the merge point on a first one of the upstream tracks, the merge control zone defining at least respective sections of the upstream tracks, the vehicle being a vehicle of a sequence of one or more vehicles approaching the merge point on said first upstream track;means for allocating a passage time to the vehicle, the passage time being indicative of a time at which the vehicle is scheduled to pass the merge point; wherein allocating the passage time is based on a merge priority assigned to the vehicle according to a predetermined set of merge priority rules;means for controlling a speed of the vehicle responsive to the allocated passage time.

② 한국공개특허 KR2009017514

<표 2.3.29> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2009017514) 요약

출원번호	10-2008-7027499	공개번호	KR2009017514	법적상태	공개
출원일자	2008-11-10	공개일자	2009-02-18	권리만료	2028-11-10
국제특허분류	B61B 철도 방식; 달리 분류되지 않는 설비				
명칭	선형 유도 모터를 구비하는 개별 고속 수송 시스템에 있어서의 제어 및 안전 제동을 위한 방법 및 장치				
대표도면					

하나 이상의 모터를 포함하는 차량 추진 시스템을 포함하는 개별 고속 수송 시스템 내의 하나 이상의 차량이 트랙을 따라 이동할 때 상기 하나 이상의 차량의 차량 속도를 제어하기 위한 속도 제어 시스템이며, 각각의 모터는 상기 하나 이상의 차량 중 하나의 차량을 추진하기 위한 추력을 생성하도록 구성되고, 개별 고속 수송 시스템 내의 차량 속도를 제어하기 위한 속도 제어 시스템은, 상기 하나 이상의 차량의 상기 차량 속도를 제어하도록 차량위치 및/또는 속도 센서로부터 수신된 하나 이상의 센서 신호에 기초하여 상기 모터 중 적어도 하나의 모터에 의해 생성된 상기 추력을 제어하도록 구성된 속도 조절 서브시스템, 및 상기 하나 이상의 차량 중 각각의 차량 내에 포함되고 상기 속도 조절 서브시스템에 의한 차량 속도 제어와 무관하게 상기 차량 상에 장착된 비상 브레이크를 작동시키도록 구성된 차량 제어 시스템을 포함한다.

■ 한국공개특허 KR2009017514 대응 특허

<표 2.3.30> Posco(Vectus)의 한국등록특허(KR2009017514) 대응 특허

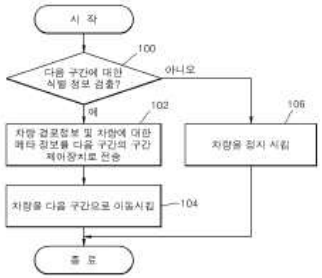
특허번호	대표 청구항
KR2009017514	청구항 1 개별 고속 수송 시스템 내의 하나 이상의 차량이 트랙을 따라 이동할 때 상기 하나 이상의 차량의 차량 속도를 제어하되, 상기 개별 고속 수송 시스템은 하나 이상의 모터를 포함하는 차량 추진 시스템을 포함하며, 또한 각각의 모터는 하나 이상의 차량 중 하나의 차량을 추진하기 위한 추력을 생성하도록 되어있는 속도 제어 시스템에 있어서, 상기 하나 이상의 차량의 상기 차량 속도를 제어하도록 차량 위치 및/또는 속도 센서로부터 수신된 하나 이상의 센서 신호에 기초하여 상기 모터 중 적어도 하나의 모터에 의해 생성된 상기 추력을 제어하도록 구성된 속도 조절 서브시스템, 및상기 하나 이상의 차량의 각 차량 내에 포함되며 또한 상기 속도 조절 서브시스템에 의한 차량 속도 제어와 무관하게 상기 차량 상에 장착된 비상 브레이크를 작동시키도록 구성된 차량 제어 시스템을 포함하는 것을 특징으로 하는 개별 고속 수송 시스템 내의 차량 속도를 제어하기 위한 속도 제어 시스템. 청구항 45 개별 고속 수송 시스템을 위한 차량에 있어서, 상기 개별 고속 수송 시스템은 하나 이상의 모터를 포함하는 추진력 시스템을 포함하고, 각각의 모터는 상기 차량을 추진하기 위한 추력을 발생하도록 구성되고, 상기 개별 고속 수송 시스템은 각각의 차량 위치 및/또는 속도 센서로부터 수신된 하나 이상의 센서 신호를 기초로 상기 차량의 상기 속도를 제어하도록 상기 모터 중 적어도 하나의 모터에 의해 발생된 상기 추력을 제어하기 위해 구성된 속도 조절 서브시스템을 추가로 포함하고, 또한 상기 차량은 상기 차량 내에 포함되면서 상기 속도 조절 서브시스템에 의한 상기 속도 제어와 무관하게 상기 차량에 장착된 비상 브레이크를 작동시키도록 구성된 차량 제어 시스템을 포함하는 것을 특징으로 하는 개별 고속 수송 시스템을 위한 차량. 청구항 49 하나 이상의 모터를 포함하는 차량 추진 시스템을 포함하는 개별 고속

	수송 시스템 내의 하나 이상의 차량이 트랙을 따라 이동할 때 상기 하나 이상의 차량의 차량 속도를 제어하되, 각각의 모터는 상기 하나 이상의 차량 중 하나의 차량을 추진하기 위한 추력을 생성하도록 구성되어있는 개별 고속 수송 시스템 내의 차량 속도를 제어하기 위한 방법에 있어서, 상기 하나 이상의 차량 중 하나의 차량의 적어도 하나의 위치를 검출하는 단계, 적어도 상기 센서 신호를 기초로 상기 하나 이상의 차량의 상기 속도를 제어하도록 상기 모터 중 적어도 하나의 모터에 의해 생성된 상기 추력을 제어하는 단계, 및 상기 차량 내에 포함되며 또한 상기 속도 제어와 무관하게 상기 차량 상에 장착된 비상 브레이크를 작동시키도록 구성된 차량 제어 시스템을 제공하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 개별 고속 수송 시스템 내의 차량 속도를 제어하기 위한 방법.
US20090099715	1. A speed control system for controlling vehicle speed of one or more vehicles in a personal rapid transit system when said one or more vehicles travel along a track, the personal rapid transit system including a vehicle propulsion system including one or more motors, each motor being adapted to generate a thrust for propelling one of the one or more vehicles, the speed control system comprising: a speed regulation subsystem adapted to control the thrust generated by at least one of said motors based on one or more sensor signals received from vehicle position and/or speed sensors, so as to control the speed of the one or more vehicles;a vehicle control system included in each of said one or more vehicles and adapted to activate, independently from the speed control by the speed regulation subsystem, an emergency brake mounted on said vehicle. 45. A vehicle for a personal rapid transit system, the personal rapid transit system including a propulsion system including one or more motors, each motor being adapted to generate a thrust for propelling the vehicle, the rapid transit system further comprising a speed regulation subsystem adapted to control the thrust generated by at least one of said motors so as to control the speed of the vehicle based on one or more sensor signals received from respective vehicle position and/or speed sensors; the vehicle

	comprising: a vehicle control system included in said vehicle and adapted to activate, independently from the speed control by the speed regulation subsystem, an emergency brake mounted on said vehicle. 48. A personal rapid transit system including a speed control system as defined in claim 1. 49. A method of controlling vehicle speed of one or more vehicles in a personal rapid transit system when said one or more vehicles travel along a track, the personal rapid transit system including a vehicle propulsion system including one or more motors, each motor being adapted to generate a thrust for propelling one of the one or more vehicles, the method comprising: detecting at least a position of one of the one or more vehicles;controlling the thrust generated by at least one of said motors so as to control the speed of the one or more vehicles based on at least said sensor signal;providing a vehicle control system included in said vehicle and adapted to activates independently from said speed control, an emergency brake mounted on said vehicle.

③ 한국등록특허 KR1059556

<표 2.3.31> Posco(Vectus)의 한국등록특허(KR1059556) 요약

출원번호	10-2009-0023050	등록번호	KR1059556	법적상태	등록
출원일자	2009-03-18	등록일자	2011-08-19	권리만료	2029-03-18
국제특허분류	B61L 철도 교통의 안내; 철도 교통의 보안				
명칭	In-Track 방식 PRT 차량의 경로 제어방법				
대표도면					

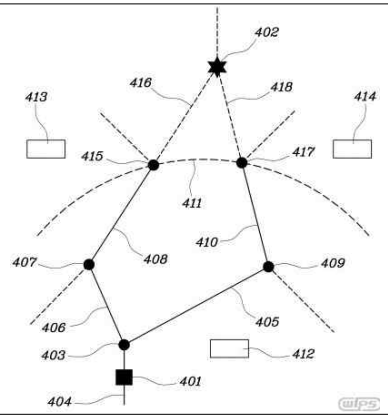
본 발명에 따른 In-Track 방식 PRT 차량의 경로 제어방법은 차량이 이동할 각 구간에 대한 식별정보를 포함하는 차량 경로정보를 중앙제어장치로부터 수신하는 단계; 현재 구간에 해당하는 식별정보와 상기 차량 경로정보 중 소정 저장영역에 저장된 식별정보가 일치하는가를 검사하는 단계; 상기 현재 구간에 해당하는 식별정보와 상기 소정 저장영역에 저장된 식별 정보가 일치한다면, 상기 차량 경로정보의 식별정보를 쉬프트하는 단계; 상기 쉬프트된 차량 경로정보 중 상기 소정 저장영역에 저장된 식별정보를 상기 차량이 이동할 다음 구간에 대한 식별정보로서 검출하는 단계; 상기 다음 구간에 대한 식별정보를 참조하여, 상기 차량 경로정보 및 상기 차량에 대한 메타 정보를 상기 다음 구간의 구간 제어장치로 전송하는 단계; 및 상기 차량을 상기 다음 구간으로 이동시키는 단계를 포함함으로써, In-Track 방식의 PRT 차량에 대해 중앙제어장치에 의해 계산된 차량 경로를 각 구간제어장치로 전송하여 중앙제어장치의 기능을 분산시켜 중앙제어장치의 부하를 줄이고, 중앙제어장치의 장애 발생 시 전체 시스템의 정지 상태를 예방하여 PRT 운영의 효율성을 높일 수 있도록 한다.

<표 2.3.32> Posco(Vectus)의 한국등록특허(KR1059556) 대표 청구항

특허번호	대표 청구항
KR1059556	청구항 1 차량이 이동할 각 구간에 대한 식별정보를 포함하는 차량 경로정보를 중앙제어장치로부터 수신하는 단계; 현재 구간에 해당하는 식별정보와 상기 차량 경로정보 중 소정 저장영역에 저장된 식별정보가 일치하는가를 검사하는 단계; 상기 현재 구간에 해당하는 식별정보와 상기 소정 저장영역에 저장된 식별 정보가 일치한다면, 상기 차량 경로정보의 식별정보를 쉬프트하는 단계; 상기 쉬프트된 차량 경로정보 중 상기 소정 저장영역에 저장된 식별정보를 상기 차량이 이동할 다음 구간에 대한 식별정보로서 검출하는 단계; 상기 다음 구간에 대한 식별정보를 참조하여, 상기 차량 경로정보 및 상기 차량에 대한 메타 정보를 상기 다음 구간의 구간 제어장치로 전송하는 단계; 및 상기 차량을 상기 다음 구간으로 이동시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 In-Track 방식 PRT 차량의 경로 제어방법. 청구항 5 차량이 이동할 각 구간에 대한 식별정보를 포함하는 차량 경로정보를 중앙제어장치로부터 수신하는 단계; 현재 구간에 해당하는 식별정보와 상기 차량 경로정보 중 소정 저장영역에 저장된 식별정보가 일치하는가를 검사하는 단계; 상기 현재 구간에 해당하는 식별정보와 상기 소정 저장영역에 저장된 식별 정보가 일치한다면, 상기 차량 경로 정보의 식별정보를 쉬프트하는 단계; 상기 쉬프트된 차량 경로정보 중 상기 소정 저장영역에 저장된 식별정보를 상기 차량이 이동할 다음 구간에 대한 식별정보로서 검출하는 단계; 상기 다음 구간에 대한 식별정보를 참조하여, 상기 차량 경로정보 및 상기 차량에 대한 메타 정보를 상기 다음 구간의 구간 제어장치로 전송하는 단계; 및 상기 차량을 상기 다음 구간으로 이동시키는 단계를 실행하기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체

④ 한국공개특허 KR2010127518

<표 2.3.33> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2010127518) 요약

출원번호	10-2009-0045994	공개번호	KR2010127518	법적상태	공개
출원일자	2009-05-26	공개일자	2010-12-06	권리만료	2029-05-26
국제특허분류	B60L	전기적 추진차량의 전기장치 또는 추진장치, 차량용 자기적 현가 또는 부양장치, 차량용 전기적 제동방식일반			
명칭	자동운행 차량 시스템에서의 차량의 분산 동적 경로제어				
대표도면					

하나 이상의 차량이 출발지와 목적지 사이에서 운행하도록 제어하기 위해서 자동운행 차량 시스템에서 차량의 경로를 제어하되, 상기 자동운행 차량 시스템은 차량들이 운행하도록 구성된 궤도망을 포함하며, 또한 상기 궤도망은 링크들에 의해 연결된 다수의 노드를 포함하며, 여기서 상기 다수의 노드들은 하나 이상의 분기 지점을 포함하며, 또한 각 분기 지점에서 하나의 후방 궤도는 적어도 두 개의 전방 궤도를 형성하기 위해 분기되도록 되어 있는 자동운행 차량 시스템에서 차량의 경로를 제어하는 방법에 있어서,; 상기 궤도망에서 상기 차량의 현재 위치의 전방에 있는 다음 전방 분기 지점으로부터, 상기 현재 위치와 상기 목적지 사이의 하나 이상의 경로를 따라서 상기 목적지에 이르는 잔여 거리에 대한 각각의 잔여 주행시간을 계산하되, 상기 각각의 잔여 주행시간의 계산은 상기 하나 이상의 경로를 따라 상기 현재 위치의 전방에 있는 소정 개수의 분기 지점들과 관련하여 국부적으로 감지된 주행시간들에 적어도 기초해서 수행되는 단계;; 상기 계산된 잔여 주행시간 중에서 계산된 최소 잔여시간을 가진 경로를 선택하는 단계; 및; 상기 차량을 상기 선택된 경로의 적어도 앞 부분을 따라가도록 제어하는 단계로 구성되는 것을

특징으로 하는 자동운행 차량 시스템에서 차량의 경로를 제어하는 방법이 개시되어 있다.

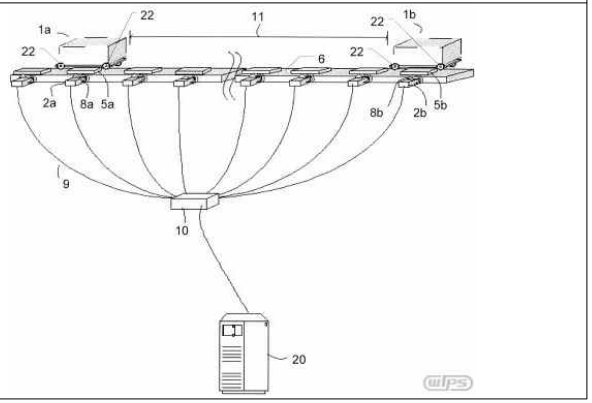
<표 2.3.34> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2010127518) 대표 청구항

특허번호	대표 청구항
KR2010127518	청구항 1항 하나 이상의 차량이 출발지와 목적지 사이에서 운행하도록 제어하기 위해서 자동운행 차량 시스템에서 차량의 경로를 제어하되, 상기 자동운행 차량 시스템은 차량들이 운행하도록 구성된 궤도망을 포함하며, 또한 상기 궤도망은 링크들에 의해 연결된 다수의 노드를 포함하며, 여기서 상기 다수의 노드들은 하나 이상의 분기 지점을 포함하며, 또한 각 분기 지점에서 하나의 후방 궤도는 적어도 두 개의 전방 궤도를 형성하기 위해 분기되도록 되어 있는 자동운행 차량 시스템에서 차량의 경로를 제어하는 방법에 있어서, 상기 궤도망에서 상기 차량의 현재 위치의 전방에 있는 다음 전방 분기 지점으로부터, 상기 현재 위치와 상기 목적지 사이의 하나 이상의 경로를 따라서 상기 목적지에 이르는 잔여 거리에 대한 각각의 잔여 주행시간을 계산하되, 상기 각각의 잔여 주행시간의 계산은 상기 하나 이상의 경로를 따라 상기 현재 위치의 전방에 있는 소정 개수의 분기 지점들과 관련하여 국부적으로 감지된 주행시간들에 기초해서 수행되는 단계; 상기 계산된 잔여 주행시간 중에서 계산된 최소 잔여시간을 가진 경로를 선택하는 단계; 및 상기 차량을 상기 선택된 경로의 앞 부분을 따라가도록 제어하는 단계로 구성되는 것을 특징으로 하는 자동운행 차량 시스템에서 차량의 경로를 제어하는 방법. 청구항 28항 하나 이상의 차량이 출발지와 목적지 사이에서 운행하도록 제어하기 위해서 자동운행 차량 시스템에서 차량의 경로를 제어하되, 상기 자동운행 차량 시스템은 차량들이 운행하도록 구성된 궤도망을 포함하며, 또한 상기 궤도망은 링크들에 의해 연결된 다수의 노드를 포함하며, 여기서 상기 다수의 노드들은 하나 이상의

특허번호	대표 청구항
	분기 지점을 포함하며, 또한 각 분기 지점에서 하나의 후방 궤도는 적어도 두 개의 전방 궤도를 형성하기 위해 분기되도록 되어 있는 자동운행 차량 시스템에서 차량의 경로를 제어하는 제어 시스템에 있어서, 상기 궤도망에서 상기 차량의 현재 위치의 전방에 있는 다음 전방 분기 지점으로부터, 상기 현재 위치와 상기 목적지 사이의 하나 이상의 경로를 따라서 상기 목적지에 이르는 잔여 거리에 대한 각각의 잔여 주행시간을 계산하되, 상기 각각의 잔여 주행시간의 계산은 상기 하나 이상의 경로를 따라 상기 현재 위치의 전방에 있는 소정 개수의 분기 지점들과 관련하여 국부적으로 감지된 주행시간들에 기초해서 수행되는 수단; 상기 계산된 잔여 주행시간 중에서 계산된 최소 잔여시간을 가진 경로를 선택하는 수단; 및 상기 차량을 상기 선택된 경로의 앞 부분을 따라가도록 제어하는 수단으로 구성되는 것을 특징으로 하는 자동운행 차량 시스템에서 차량의 경로를 제어하는 제어 시스템. 청구항 29항 데이터 처리 시스템상에서 실행될 때, 상기 데이터 처리 시스템이 제1항 내지 제27항 중 어느 한 항의 방법을 수행하도록 해주는 프로그램 코드 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 프로그램. 청구항 30항 상기 데이터 처리 시스템상에서 실행될 때, 상기 데이터 처리 시스템이 제1항 내지 제27항 중 어느 한 항의 방법을 수행하도록 해주는 프로그램 코드 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 데이터 처리 시스템.

⑤ 한국공개특허 KR2010137169

<표 2.3.35> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2010137169) 요약

출원번호	10-2009-0055459	공개번호	KR2010137169	법적상태	공개
출원일자	2009-06-22	공개일자	2010-12-30	권리만료	2029-06-22
국제특허분류	B61B 철도 방식; 달리 분류되지 않는 설비				
명칭	자동운전차량 시스템에서의 차량의 군집주행 방법				
대표도면					

차량들이 운행하는 데에 적용하는 궤도망으로서, 적어도 두 개의 진입궤도가 한 개의 진출궤도를 형성하기 위해 합류하는 적어도 한 개의 합류점과, 한 개의 진입궤도가 적어도 두 개의 진출궤도를 형성하기 위해 분기되는 적어도 한 개의 분기점과, 그리고 승객들이 차량들로부터 승차 및/또는 하차할 수 있는 복수의 정거장을 구비하는 궤도망을 포함하는 자동운전차량시스템에서의 궤도용량을 키우는 방법이 개시된다. 이 방법은 빈 차량들이 적어도 하나의 열을 갖는 빈 차량들로 운행되도록 하기 위해 차량들을 제어하는 단계와; 그리고 서로간의 제1안전거리로 운행하도록 적어도 하나의 열을 갖는 빈 차량들을 제어하는 단계를 포함하며, 제1안전거리는 부분적으로 적재되어 있는 차량들간의 제2안전거리보다 짧다.

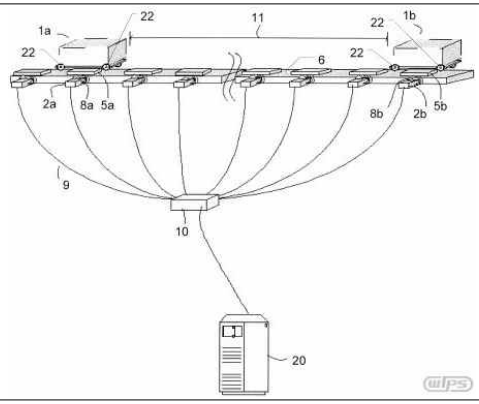
<표 2.3.36> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2010137169) 대표 청구항

특허번호	대표 청구항
KR2010137169	청구항 1항

특허번호	대표 청구항
	차량들이 운행하는 데에 적용하는 궤도망으로서, 적어도 두 개의 진입궤도가 한 개의 진출궤도를 형성하기 위해 합류하는 적어도 한 개의 합류점과, 한 개의 진입궤도가 적어도 두 개의 진출궤도를 형성하기 위해 분기되는 적어도 한 개의 분기점과, 그리고 승객들이 차량들에 승차 및/또는 하차할 수 있는 복수의 정거장을 구비하는 궤도망을 포함하는 자동운전차량시스템에서의 궤도용량을 키우는 군집주행 방법으로서, 빈 차량들을 적어도 하나의 열(sequence)를 갖는 빈 차량들로 운행하기 위해 차량들을 제어하는 단계와, 그리고 서로간에 제1안전거리로 운행하도록 적어도 하나의 열을 갖는 빈 차량들을 제어하는 단계를 포함하며, 상기 제1안전거리는 부분적으로 적재되어 있는 차량들간의 제2안전거리보다 짧은 것을 특징으로 하는 자동운전차량시스템에서의 차량의 군집주행방법. 청구항 19항 차량들의 운행에 적합한 망으로서, 적어도 두 개의 상류 궤도가 한 개의 진출궤도를 형성하도록 합류하는 적어도 한 개의 합류점과, 한 개의 진입궤도가 적어도 두 개의 진출궤도를 형성하도록 분기되는 적어도 한 개의 분기점과, 그리고 승객들이 차량들에 승차 및/또는 하차할 수 있는 복수의 정거장을 구비하는 망를 포함하는 자동운전차량시스템에서의 궤도용량을 키우는 군집운행 제어시스템으로서, 빈 차량들을 적어도 하나의 열을 갖는 빈 차량들로 운행하게 하기 위해 차량들을 제어하는 수단과; 그리고 적어도 하나의 열을 갖는 빈 차량들을 서로간에 제1안전거리로 제어하는 수단을 포함하며, 상기 제1안전거리는 적어도 부분적으로 적재되어 있는 차량들간의 제2안전거리보다 짧은 것을 특징으로 하는 자동운전차량시스템에서의 궤도용량의 증대를 위한 군집운행 제어시스템.

⑥ 한국공개특허 KR2009122848

<표 2.3.37> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2009122848) 요약

출원번호	10-2008-0048864	공개번호	KR2009122848	법적상태	공개
출원일자	2008-05-26	공개일자	2009-12-01	권리만료	2028-05-26
국제특허분류	B61L 철도 교통의 안내; 철도 교통의 보안				
명칭	자동운전차량 시스템에서의 차량의 군집주행 방법				
대표도면					

차량들이 운행하는 데에 적용하는 궤도망으로서, 적어도 두 개의 진입궤도가 한 개의 진출궤도를 형성하기 위해 합류하는 적어도 한 개의 합류점과, 한 개의 진입궤도가 적어도 두 개의 진출궤도를 형성하기 위해 분기되는 적어도 한 개의 분기점과, 그리고 승객들이 차량들로부터 승차 및/또는 하차할 수 있는 복수의 정거장을 구비하는 궤도망을 포함하는 자동운전차량시스템에서의 궤도용량을 키우는 방법이 개시된다. 이 방법은 빈 차량들이 적어도 하나의 열을 갖는 빈 차량들로 운행되도록 하기 위해 차량들을 제어하는 단계와; 그리고 서로간의 제1안전거리로 운행하도록 적어도 하나의 열을 갖는 빈 차량들을 제어하는 단계를 포함하며, 제1안전거리는 부분적으로 적재되어 있는 차량들간의 제2안전거리보다 짧다.

<표 2.3.38> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR2009122848) 대표 청구항

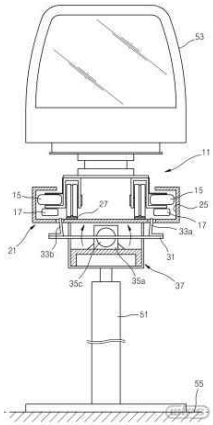
특허번호	대표 청구항
KR2009122848	청구항 1항

특허번호	대표 청구항
	차량들이 운행하는 데에 적용하는 궤도망으로서, 적어도 두 개의 진입궤도가 한 개의 진출궤도를 형성하기 위해 합류하는 적어도 한 개의 합류점과, 한 개의 진입궤도가 적어도 두 개의 진출궤도를 형성하기 위해 분기되는 적어도 한 개의 분기점과, 그리고 승객들이 차량들에 승차 및/또는 하차할 수 있는 복수의 정거장을 구비하는 궤도망을 포함하는 자동운전차량시스템에서의 궤도용량을 키우는 군집주행 방법으로서, 빈 차량들을 적어도 하나의 열(sequence)를 갖는 빈 차량들로 운행하기 위해 차량들을 제어하는 단계와, 그리고 서로간에 제1안전거리로 운행하도록 적어도 하나의 열을 갖는 빈 차량들을 제어하는 단계를 포함하며, 상기 제1안전거리는 부분적으로 적재되어 있는 차량들간의 제2안전거리보다 짧은 것을 특징으로 하는 자동운전차량시스템에서의 차량의 군집주행방법. 청구항 19항 차량들의 운행에 적합한 망으로서, 적어도 두 개의 상류 궤도가 한 개의 진출궤도를 형성하도록 합류하는 적어도 한 개의 합류점과, 한 개의 진입궤도가 적어도 두 개의 진출궤도를 형성하도록 분기되는 적어도 한 개의 분기점과, 그리고 승객들이 차량들에 승차 및/또는 하차할 수 있는 복수의 정거장을 구비하는 망를 포함하는 자동운전차량시스템에서의 궤도용량을 키우는 군집운행 제어시스템으로서, 빈 차량들을 적어도 하나의 열을 갖는 빈 차량들로 운행하게 하기 위해 차량들을 제어하는 수단과; 그리고 적어도 하나의 열을 갖는 빈 차량들을 서로간에 제1안전거리로 제어하는 수단을 포함하며, 상기 제1안전거리는 적어도 부분적으로 적재되어 있는 차량들간의 제2안전거리보다 짧은 것을 특징으로 하는 자동운전차량시스템에서의 궤도용량의 증대를 위한 군집운행 제어시스템
US20110184596	1. A method of increasing track capacity in an automated vehicle system, the automated vehicle system comprising a network of tracks along which vehicles are adapted to travel, the network comprising at least one merge point at which at least two upstream tracks merge to form a downstream track, at least one diverge point at which one upstream track diverges to form at least two downstream tracks and a plurality of stations at which

특허번호	대표 청구항
	passengers may board and/or disembark from the vehicles; wherein the method comprises controlling vehicles so as to cause empty vehicles to travel as at least one sequence of empty vehicles; and controlling the empty vehicles of the at least one sequence to travel with a first safety distance between each other, the first safety distance being shorter than a second safety distance between vehicles being at least partially loaded. 19. A control system for increasing track capacity in an automated vehicle system, the automated vehicle system comprising a network of tracks along which vehicles are adapted to travel, the network comprising at least one merge point at which at least two upstream tracks merge to form a downstream track, at least one diverge point at which one upstream track diverges to form at least two downstream tracks and a plurality of stations at which passengers may board and/or disembark from the vehicles; wherein the control system comprises: means for controlling vehicles so as to cause empty vehicles to travel as at least one sequence of empty vehicles; and means for controlling the empty vehicles of the at least one sequence to travel with a first safety distance between each other, the first safety distance being shorter than a second safety distance between vehicles being at least partially loaded.

⑦ 한국공개특허 KR1021977

<표 2.3.39> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1021977) 요약

출원번호	10-2009-0023525	등록번호	KR1021977	법적상태	공개
출원일자	2009-03-19	등록일자	2011-03-07	권리만료	2029-03-19
국제특허분류	B61L 철도 교통의 안내; 철도 교통의 보안				
명칭	ＰＲＴ차량용 선로 분기 및 합류 장치				
대표도면					

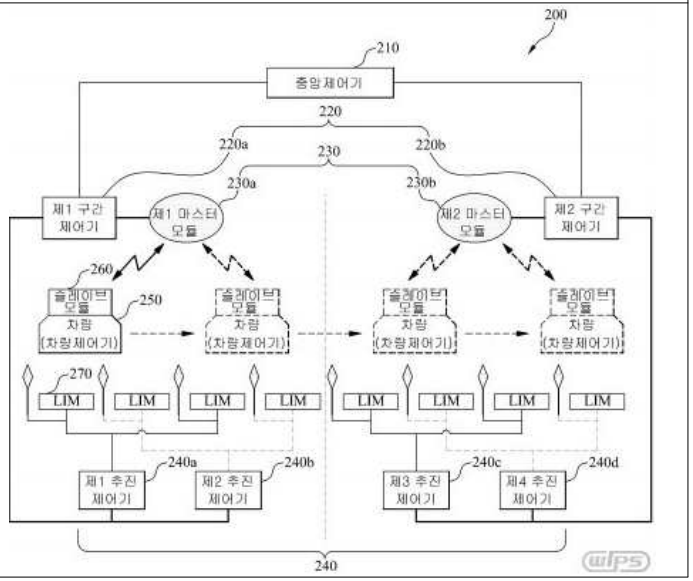
본 발명은 PRT차량용 선로 분기 및 합류장치에 관한 것이다. 이는 다수의 분기점 및 합류점을 가지는 주행트랙을 따라 주행하는 PRT차량의 주행을 가이드하기 위한 것으로서, 상기 주행트랙의 분기점과 합류점 하부에 승강 가능하게 설치되며, PRT차량이 상기 분기점 또는 합류점으로 진입할 때, 주행트랙측으로 상향 이동함으로써 PRT차량의 좌측편 또는 우측편 안내휠의 측부에 도달하여 분기 또는 합류시 PRT차량에 미치는 원심력의 반대방향의 지지력을 안내휠에 제공해 PRT차량을 원하는 방향으로 가이드하는 승강레일과, 상기 승강레일을 승강시키는 구동부를 포함한다.; 상기와 같이 이루어지는 본 발명의 PRT차량용 선로 분기 및 합류장치는, 차량의 주행트랙 하부에 시소운동을 통해 승강 가능한 승강레일을 구비하고, 상기 승강레일로 하여금 차량의 분기 또는 합류를 유도하게 함으로써, 동작이 신속 정확하고 안정적으로 구현됨은 물론 구조가 간단하며 작은 공간을 차지한다는 잇점을 갖는다.

<표 2.3.40> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1021977) 대표 청구항

특허번호	대표 청구항
KR1021977	청구항 1항 다수의 분기점 및 합류점을 가지는 주행트랙을 따라 주행하는 것으로, 승객이 탑승하는 객실과, 상기 객실을 지지하는 차대(車臺)와, 상기 차대의 하부에 구비되며 주행트랙에 나란하게 깔려 있는 레일을 따라 구름운동 하는 다수의 주행휠과, 상기 차대의 양측부에 위치하되 그 회전축이 상기 주행휠과 직교하도록 수평으로 설치되는 다수의 안내휠로 구성되는 PRT차량의 주행을 가이드하기 위한 것으로서, 상기 주행트랙의 분기점과 합류점 하부에 승강 가능하게 설치되며, PRT차량이 상기 분기점 또는 합류점으로 진입할 때, 주행트랙측으로 상향 이동함으로써 PRT차량의 좌측편 또는 우측편 안내휠의 측부에 도달하여 분기 또는 합류시 PRT차량에 미치는 원심력의 반대방향의 지지력을 안내휠에 제공해 PRT차량을 원하는 방향으로 가이드하는 승강레일과, 상기 승강레일을 승강시키는 구동부를 포함하는 것을 특징으로 하는 PRT차량용 선로 분기 및 합류장치

⑧ 한국공개특허 KR1076494

<표 2.3.41> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1076494) 요약

출원번호	10-2010-0105513	등록번호	KR1076494	법적상태	공개
출원일자	2010-10-27	등록일자	2011-10-18	권리만료	2030-10-27
국제특허분류	B61L 철도 교통의 안내; 철도 교통의 보안				
명칭	ＰＲＴ 시스템의 제어 방법 및 그 방법을 지원하는 ＰＲＴ 시스템				
대표도면					

핸드오프 주기를 감소시킬 수 있는 일 측면에 따른 PRT 시스템은, 각 차량에 설치되어, 상기 차량의 주행 방향 결정 암(Arm) 및 상기 차량의 도어의 온오프 중 적어도 하나를 제어하는 차량 제어기; 상기 차량 제어기로 상기 차량의 주행방향 결정 암 및 도어의 온오프 중 적어도 하나에 대한 제어 데이터를 전송하고, 상기 차량 제어기로부터 상기 차량의 상태 데이터를 수신하는 슬레이브 모듈; 복수개의 슬레이브 모듈 각각에 대해 각 슬레이브 모듈이 탑재된 각 차량에 대한 상기 제어 데이터를 전송하고, 상기 복수개의 슬레이브 모듈로부터 상기 각 차량의 상태 데이터를 수신하는 마스터 모듈; 및 상기 마스터 모듈로 상기 각 차량에 대한 상기 제어 데이터를 전송하고, 상기 마스터 모듈로부터 상기 각 차량의 상태 데이터를 수신하는 하나 이상의 구간 제어기를 포함하는 것을

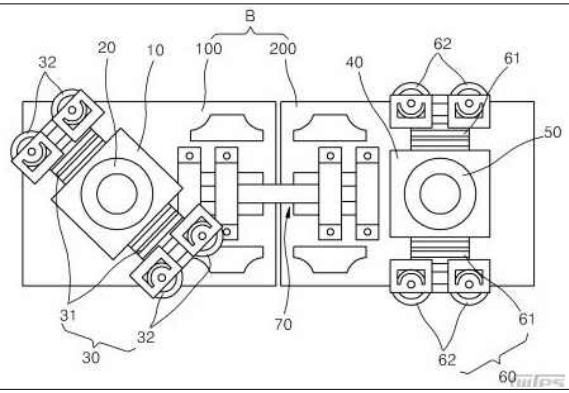
특징으로 한다.

<표 2.3.42> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1076494) 대표 청구항

특허번호	대표 청구항
KR1076494	청구항 1항 각 차량에 설치되어, 상기 차량의 주행 방향 결정 암(Arm) 및 상기 차량의 도어의 온오프 중 적어도 하나를 제어하는 차량 제어기; 상기 차량 제어기로 상기 차량의 주행방향 결정 암 및 도어의 온오프 중 적어도 하나에 대한 제어 데이터를 전송하고, 상기 차량 제어기로부터 상기 차량의 상태 데이터를 수신하는 슬레이브 모듈; 복수개의 슬레이브 모듈 각각에 대해 각 슬레이브 모듈이 탑재된 각 차량에 대한 상기 제어 데이터를 전송하고, 상기 복수개의 슬레이브 모듈로부터 상기 각 차량의 상태 데이터를 수신하는 마스터 모듈; 및 상기 마스터 모듈로 상기 각 차량에 대한 상기 제어 데이터를 전송하고, 상기 마스터 모듈로부터 상기 각 차량의 상태 데이터를 수신하는 하나 이상의 구간 제어기를 포함하는 것을 특징으로 하는 PRT 시스템.

⑨ 한국공개특허 KR1065463

<표 2.3.43> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1065463) 요약

출원번호	10-2009-0040888	등록번호	KR1065463	법적상태	공개
출원일자	2009-05-11	등록일자	2011-09-08	권리만료	2029-05-11
국제특허분류	B61B 철도 방식; 달리 분류되지 않는 설비				
명칭	피알티 시스템용 차량의 하부구조				
대표도면					

본 발명은 피알티 시스템용 차량의 하부구조에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 피알티 시스템용 차량에 특별한 제어신호를 부여하지 않고도 스티어링이 가능하도록 함으로써 제어신호 자체의 오류 또는 제어신호 전달과정에서의 오류로 인한 오동작 가능성을 미연에 방지함으로써 피알티 시스템용 차량을 보다 안정적으로 운영할 수 있도록 하는 피알티 시스템용 차량의 하부구조에 관한 것이다.; 본 발명은, 승객이 탑승하는 캐빈과 상기 캐빈의 하부에 배치되는 바디와 상기 바디의 하부에 마련되는 하부구조를 포함하는 피알티 시스템 차량용 하부구조에 있어서, 상기 바디는 일정간격 이격되되 서로 나란히 배치되는 제1바디와 제2바디로 이루어지고, 상기 제1바디의 하부에 배치되는 제1프레임; 상기 제1바디와 상기 제1프레임 사이에 배치되는 쓰러스트 베어링(thrust bearing)인 제1베어링; 제1프레임에 마련되며 한 쌍의 제1휠과 상기 제1휠들이 궤도 상에서 회전할 수 있도록 그 경로를 가이드하는 제1가이드 휠을 포함하는 제1휠 어셈블리; 상기 제2바디의 하부에 배치되는 제2프레임; 상기 제2바디와 상기 제2프레임 사이에 배치되는 쓰러스트 베어링인 제2베어링; 제2프레임에 마련되며 한 쌍의 제2휠과 상기 제2휠들이 궤도 상에서 회전할 수 있도록 그 경로를 가이드하는 제2가이드 휠을 포함하는 제2휠 어셈블리;

제1프레임과 제2프레임의 서로 연결하되 피알티 시스템 차량의 길이방향의 축방향의 회전은 허용하는 스파인 튜브;를 포함하는 것을 특징으로 하는 피알티 시스템 차량용 하부구조를 제공한다.; 본 발명에 의하면 기계적인 구동원리에 의해 피알티 시스템 차량의 스티어링이 이루지게 함으로써 전자제어시에 발생하는 오류의 가능성을 원천적으로 배제하고 안정적인 스티어링이 가능하며 스티어링 과정에서 속력감소를 최소화하여 평균 속력을 증가시킬 뿐만 아니라 에너지 효율적인 피알티 시스템 차량용 하부구조를 제공할 수 있다.

<표 2.3.44> Posco(Vectus)의 한국공개특허(KR1065463) 대표 청구항

특허번호	대표 청구항
KR1065463	청구항 1항 승객이 탑승하는 캐빈과 상기 캐빈의 하부에 배치되는 바디와 상기 바디의 하부에 마련되는 하부구조를 포함하는 피알티 시스템 차량용 하부구조에 있어서, 상기 바디는 일정간격 이격되되 서로 나란히 배치되는 제1바디와 제2바디로 이루어지고, 상기 제1,2 바디는 상기 캐빈과 면접촉하며, 상기 제1바디의 하부에 배치되는 제1프레임; 상기 제1바디와 상기 제1프레임 사이에 배치되는 쓰러스트 베어링(thrust bearing)인 제1베어링; 상기 제1프레임에 마련되며 한 쌍의 제1휠과 상기 제1휠들이 궤도 상에서 회전할 수 있도록 그 경로를 가이드하는 제1가이드 휠을 포함하는 제1휠 어셈블리; 상기 제2바디의 하부에 배치되는 제2프레임; 상기 제2바디와 상기 제2프레임 사이에 배치되는 쓰러스트 베어링인 제2베어링; 제2프레임에 마련되며 한 쌍의 제2휠과 상기 제2휠들이 궤도 상에서 회전할 수 있도록 그 경로를 가이드하는 제2가이드 휠을 포함하는 제2휠 어셈블리; 제1바디와 제2바디를 서로 연결하되 피알티 시스템 차량의 길이방향의 축방향의 회전은 허용하는 스파인 튜브;를 포함하는 것을 특징으로 하는 피알티 시스템 차량용 하부구조.

(3) Taxi 2000(SkyWeb Express)

Taxi 2000은 1990년대 초반 PRT 시스템의 계획, 설계 및 시뮬레이션에 대한 전문적인 서비스를 제공하는 컨설팅 회사로 미국 미네소타의 Fridley에서 설립되었다. Taxi 2000은 1993년 Taxi 2000 시스템 기술에 대한 권리를 Raytheon사에 판매하였다가 다시 디자인 권리를 사들여 SkyWeb Express라는 컨셉으로 개발을 지속하고 있다.

Taxi 2000의 Skyweb Express는 외부 기상변화에 대해 보호되는 외피로 둘러싼 가이드웨이 위를 차량이 지나가는 형식이다.

<표 2.3.45> Taxi 2000(SkyWeb Express)의 PRT 시스템

회사명	Taxi 2000 (SkyWeb Express)
PRT 분야 주요 보유 기술	
	- U-Shaped truss guideway - headway : 1/2 second - Guideway Type : supported rail-guided - Guideway Dimension: 89 x 99 cm - Motor Type: LIM - Power Delivery: power rails - Top Speed: 45mph/72kph - Switch Type: On board switch - Max Veh. Weight: 1000kg - Passenger Seating: 3 plus jumpseat - Freight Avail: yes

Taxi 2000은 PRT 기술분야의 주요 출원인으로서, 표 2.3.46은 Taxi 2000의 PRT 분야 특허 목록을 나타낸 것이다.

<표 2.3.46> Taxi 2000의 PRT 분야 특허

No	Publication Number	Application Date	Inventor	Title
1	US7617977	2006-06-13	Mathews, III, Donald H.	Ticketing System for Personal Rapid Transit
2	WO2007146564	2007-05-23	Mathews, III, Donald H.	Ticketing System for Personal Rapid Transit
3	WO2009067116	2007-11-21	ANDERSON, J. Edward	A Control System for a Vehicle

Taxi 2000은 PCT를 중심으로 특허 출원이 이루어졌으며, 주요 발명자로는 Mathews, III, Donald H. 등이 있다.

(4) 2getthere

2getthere은 Frog navigation systems의 사업 부문으로 2001년 네덜란드에 설립되었으며, 2007년 독립기업으로 분리하였다.

<표 2.3.47> 2getthere의 PRT 시스템

회사명	2getthere
PRT 분야 주요 보유 기술	
	- 수송인원 : 4-20명 - Max. speed : 25mph - capacity up to 2,500pphpd - Masdar City PRT Application Peak Capacity: 500 p/ph/pd currently Times of Operation: 24hrs. p/d, 7 days p/w Configuration: Network Connections: Direct (Non-stop) Type of vehicle: 2nd generation CyberCab Fleet Size: 10(+ 3 Freight Rapid Transit vehicles) Passengers seated/standing: 어른 4 + 아이 2 Drive: Electric Supervisory Control System: TOMS

2getthere은 자체 기업 명칭으로는 출원된 특허가 조사되지 않았으며, 표 2.3.48은 Frog Navigation Systems의 특허 목록을 나타낸 것이다.

<표 2.3.48> 2getthere의 PRT 분야 특허

No	Publication Number	Application Date	Assignee/ Applicant	Title
1	EP1010046	1998-08-04	Frog Navigation Systems	System and Method for Controlling of Vehicles
2	EP1436187	2002-10-17	Frog Technology	Vehicles and Method for Steering Thereof
3	US6269291	2000-03-27	Frog Navigation Systems	System and Method for Controlling of Vehicles
4	US7451027	2004-08-23	Frog Navigation Systems	Vehicle and Method for Steering Thereof
5	WO1999006898	1998-08-04	Frog Navigation Systems	System and Method for Controlling of Vehicles
6	WO2003033330	2002-10-17	Frog Navigation Systems	Vehicles and Method for Steering Thereof

Frog Navigation Systems은 EP1010046 및 EP1436187과 그의 대응특허들을 통해 각각 동일한 시간 및 기간 내에 지표면을 주행하고, 차량의 위치 및 속도가 마커 소자에 의해 정확하게 유지되는 것을 특징으로 하는 차량의 제어 시스템과 자기 마킹 요소를 지면 내에 배열하고, 센서가 구비된 차량이 주행 중에 자장을 측정하여 자기 마킹 요소에 대한 차량의 위치를 측정되는 자장의 강도에 근거하고 평가하는 기술에 대한 권리를 확보하고 있다.

PRT 기술의 주요 출원인인 ATS, Posco, Taxi 2000이 보유하고 있는 특허들에서 종래 기술의 문제점에 대해 특허상에서 제시한 해결수단을 살펴보면, ATS의 경우 종래 기술에서 보여지는 소형 차량에서의 공간확보(도어 개폐 구조 변경), 고속 무인 시스템에서 고장 발생 후의 스티어링 기능 유지, 트레픽 흐름의 혼란을 최소화한 안전 운행 및 차량간 충돌의 회피, 선로에서 차량 이동의 문제점, 주행면과 차량 바퀴 간의 마찰 개선 및 소음 억제, 무인차량의 안내, 트랙사이드의 최소화, 차량의 기동성 향상 등의 문제에 주목하였고 있는 것으로 분석되었다.

이를 해결하기 위한 수단으로 도어의 리딩 에지와 트레일리 에지가 각각 아치형과 개구에 평행하게 선형이동하도록 하고, 남은 모터에 의해 스티어링 조절될 수 있도록 하며, 경로에 따른 차량의 이동을 예측하여 후발 차량의 개시 시간을 조절, 주차 구역과 여러 개의 우회 트랙으로 이루어진 정거장 설계, 섬유강화 플라스틱 소재 격자 구조물의 트랙 부재 형성, 경로 인식 마커와 주행방향에 대한 측면 거리 측정 센서에 따른 경로이탈 제어시스템 개발, 고주파신호를 수신하여 차량이동을 제어하는 장치 설치, 전면 및 후면 축을 독립적으로 제어하는 방법 등을 고안하였다.

Posco의 경우 차량들의 승차감 및 교통용량 유지, 주행 제어, 안전 제동, 중앙제서 시스템의 부하 감소 및 운행 중 고장 발생시의 승객 이동, 궤도 용량 증대, 선로 공간확보, 안정적인 스티어링 유지에 주목하고, 이를 해결하기 위해 차량에 우선순위를 매기고 속도를 조절하거나 분산된 차량의 잔여 주행시간 계산을 통해 최적 경로 선택, 무선 통신 셀 설치, 차량 속도 조절 시스템 및 비상 브레이크 형성, 중앙제어장치와 구간제어장치 형성, 빈 차량들을 군집주행, 차량 분기 및 합류를 위한 승강레일 설치, 휠과 경로 가이드 휠을 어셈블리하여 기계적으로 구동을 제어하는 방법 등을 고안하였다.

Taxi 2000은 교통량 및 차량의 이동을 조절하기 위한 수단으로 트립 데이터를 가지는 티켓을 활용하고 구간 제어 시스템을 활용하였다.

상기 해결과제와 해결수단은 크게 차량의 소형화, 공간 이용성 증대, 기동성 향상 등의 운행 제어 등과 차량, 선로 및 정거장의 구조 개선, 운행 제어 시스템의 분할, 기타로 구분할 수 있다.

문제점과 해결수단을 바탕으로 주요 출원인의 기술 집중 분야를 살펴보면, ATS는 차량 소형화, 공간 이용성 증대, 운행 제어 분야를, Posco는 차량의 운행과 구동 제어 분야를, Taxi 2000은 운행 제어 분야에 집중하고 있는 것으로 나타났다.

한편 PRT 기술분야와 관련하여 현재 한국철도기술연구원이 보유하고 있는 특허는 총 21건으로 이를 정리하면 다음과 같다.

<표 2.3.49> 한국철도기술연구원의 PRT 분야 특허

No.	출원번호 (출원일자)	등록번호 (등록일자)	발명의 명칭
1	10-2003-0071716 (2003.10.15)	10-0520467 (2005.10.04)	궤도차량의 속도측정장치 및 그 방법
2	10-2004-0017263 (2004.03.15)	10-0682511 (2007.02.07)	자기장을 이용한 궤도차량의 자율 주행시스템 및 그주행방법
3	10-2004-0043495 (2004.06.14)	10-0682513 (2007.02.07)	자기패턴을 이용한 궤도차량의 정차시스템 및 정차방법
4	10-2004-0068888 (2004.08.31)	10-0630469 (2006.09.25)	제어컴퓨터를 이용한 궤도차량의 틸팅 주행 시뮬레이션시스템 및 그 시뮬레이션 방법
5	10-2004-0068889 (2004.08.31)	10-0630470 (2006.09.25)	조정입력장치가 구비된 궤도차량의 틸팅 주행 시뮬레이션시스템 및 그 시뮬레이션 방법
6	10-2004-0068890 (2004.08.31)	10-0630471 (2006.09.25)	자료출력기능이 구비된 궤도차량의 틸팅 주행 시뮬레이션시스템 및 그 시뮬레이션 방법
7	10-2004-0068891 (2004.08.31)	10-0630472 (2006.09.25)	네트워크를 이용한 궤도차량의 틸팅 주행 시뮬레이션시스템 및 그 시뮬레이션 방법
8	10-2004-0068892 (2004.08.31)	10-0630473 (2006.09.25)	분산제어방식을 이용한 궤도차량의 틸팅 주행 시뮬레이션시스템 및 그 시뮬레이션 방법
9	10-2004-0068894 (2004.08.31)	10-0583272 (2006.05.18)	궤도차량의 틸팅 주행 시뮬레이션 시스템 및 그시뮬레이션 방법
10	10-2005-0129602 (2005.12.26)	10-0733974 (2007.06.25	소형 궤도 차량의 최소간섭 경로 결정 시스템
11	10-2006-0098080 (2006.10.09)	10-0779550 (2007.11.20)	소형궤도차량의 운행제어 알고리즘 검증 시스템
12	10-2007-0082479 (2007.08.16)	10-0845586 (2008.07.04)	궤도차량운행제어시스템의중앙제어장치
13	10-2008-0028464 (2008.03.27)	10-0961490 (2010.05.27)	소형 궤도 차량의 최단경로 설정 방법
14	10-2008-0029948 (2008.03.31)	10-0931334 (2009.12.03)	소형 궤도 차량의 최단경로 설정 시스템
15	10-2008-0030743 (2008.04.02)	10-0961497 (2010.05.27)	소형 궤도차량의 제어 방법
16	10-2008-0054414 (2008.06.11)	10-0945850 (2010.02.26)	궤도차량의 운전모드 변경 장치 및 그 방법
17	10-2008-0065008 (2008.07.04)	10-0961495 (2010.05.27)	소형궤도차량의 교차로 통과 방법
18	10-2008-0065025 (2008.07.04)	10-0961491 (2010.05.27)	소형 궤도차량의 역 진입 및 진출 제어 방법
19	10-2008-0126837 (2008.12.12	10-1016362 (2011.02.14)	궤도차량용 통합형 제어 프로세스 보드
20	10-2009-0049370 (2009.06.33304)	10-1039766 (2011.06.01)	궤도차량용 유도급전시스템
21	10-2010-0091137 (2010.09.16)	10-1073860 (2011.10.10)	소형궤도차량의구원운전제어방법

한국철도기술연구원의 특허들을 살펴보면, 궤도 차량의 주행 제어를 중심으로 지적재산권을 확보하고 있으며, 최근 유도급전 시스템에 관해 특허 출원하고 등록받았다.

ATS, Posco, taxi 2000 및 한국철도기술연구원의 특허들 중 steering arrangement, Guidance System, 유도급전 시스템은 최근 5년 내에 출원된 기술들로 PRT 시스템의 상용화 과정에서 문제점으로 도출된 과제이다.

Steering arrangement 및 Guidance System과 관련하여 기존 기술에서는 주로 종축제어 분야의 기술이 개발되었으나, PRT 차량의 운행과 선로 및 정거장 등의 공간 활용도를 높이고 주변 사물과의 충돌을 피하는 것을 목적으로 횡축제어 방법에 관한 기술이 개발되고 있음. 관련 기술로는 앞서 제시된 특허 외에 미국등록특허번호 제 US06615944호 “Vehicle with auxiliary rear wheel steering mechanism”, 한국공개특허번호 제 10-2010-0104580호 “차량 측면 충돌 방지 장치 및 그 방법”((주)씨앤에스 테크놀로지), 미국등록특허번호 제 US6418858호 “Method for drive coordination of rail-guided vehicles with individual-wheel drive”, 미국공개특허번호 제 US20050087098호 “Position adjustment of a vehicle car body” 등이 있다.

현재 운영되고 있는 PRT 시스템인 ATS의 ULTra는 배터리를 충전하여 움직이며, Posco와 Taxi 2000의 PRT는 레일로부터 직접 전기를 공급받아 운영된다. 최근 출시되

고 있는 전기차량은 ULTra PRT와 같이 배터리를 충전하여 동력원으로 이용하는 장치로서 차량의 전력 공급 문제를 해결하기 위한 연구가 다각도로 진행되고 있다. 주요 연구 분야로는 대용량 배터리, 배터리 모니터링 장치 및 방법, 전력 부족 경고 발생 시 차량의 전력사용을 시스템별로 제한하는 방법 및 장치, 충전 관련 기술 등이 있다.

4. 특허분석 결론

가. 분석 결과의 요약

PRT 기술과 관련하여 한국, 미국, 일본, 유럽, PCT에 대해 전체 출원동향을 검색 결과 총 952건에 특허가 추출되었으며 이에 대해 출원동향 분석을 실시하였다.

앞서 살펴본 바와 같이, 국가별 특허 동향을 살펴보면, 출원점유율로는 일본, 한국, 미국, 유럽, PCT가 각각 47%, 23%, 16%, 8%, 6%를 차지하여, PRT와 유사한 AGV 관련 요소 기술분야는 일본이 주요 국가인 것으로 분석되며, 많은 출원인들이 일본시장개척 및 권리화에 노력하고 있는 것으로 분석된다.

국가별 연도별 특허동향을 살펴보면, 일본의 경우 1990년대 초반부터 2000년대 초반까지 꾸준한 증가세로 출원을 하였으나, 2000년대 중반부터 출원증가율이 감소하고 있는 것으로 나타났다. 한국의 경우는 일본을 제외한 타 국가들과 유사한 1990년대 후반부터 출원증가가 나타나 상대적으로 높은 증가율로 출원증가가 이루어진 것으로 나타났다. 따라서 향후 한국의 출원점유율은 상대적으로 높아질 것으로 전망된다. 전체 출원건으로 검토 시 2000년 이후 높은 출원증가율을 나타내고 있는 점과, PRT 기술의 수요 증가 추세에 비춰볼 때, 향후 PRT 기술분야에 대한 연구개발 및 출원은 계속 증가할 것으로 판단된다.

출원인별 특허동향을 살펴보면, 일본 출원인인 Murata Machinery社가 가장 많은 출원을 하고 있으며, 그 뒤로 일본의 Nippon Yusoki, MEIDENSHA, HITACHI, Toyota, Shinko Electric, Mitsubishi社가 주요 출원인인 것으로 나타났다. 기타 국가의 출원인으로는 한국의 한국철도기술연구원, 포스코 및 현대, 미국의 Jervis B. Webb가 있으며, 전체적으로 일본, 한국, 미국이 PRT와 관련한 기술분야에서 주요 출원인을 보유하고 있는 국가인 것으로 분석되었다.

해외출원 현황을 살펴보면, PRT 관련 기술분야는 자국을 중심으로 권리화가 활성화되어 있는 기술분야인 것으로 판단된다. 한편, Jervis B. Webb社는 유럽과 미국 시장에서 권리화가 진행되고 있으며, 상대적으로 아시아쪽 시장에 대해서 소극적인 것으로 나타났다.

한국에 있어서 주요 출원인을 살펴보면, 한국철도기술연구원을 중심으로 현대, 포스코, 삼성, 효광건설, 에스케이, 엘지, 한국전자통신연구원, 케이티, 울트라 글로벌, 두산이 주요 출원인인 것으로 나타났다. 한국 내 대부분의 상위출원인이 기업으로서, 한국에 있어 PRT 관련 기술 분야는 소규모 개인위주의 연구개발 보다는 기업형 연구개발이 주를 이루고 있는 것으로 분석되었다.

주요 출원인별 연도별 출원동향을 살펴보면, 일부 일본 출원인의 경우 1990년대에 많은 출원을 하였다가 2000년대 중반에 들어선 이후 소수건을 꾸준히 출원하고 있는 것으로 나타났다. 전체적으로 PRT 관련 기술분야는 지속적인 출원이 이루어지고 있는 발전기에서 성숙기 단계 진입하고 있는 기술분야인 것으로 판단된다.

이에 따라, 주요 경쟁사에 대해서는 출원동향 관리대상으로 수시로 파악하고 , 특히 전술한 출원건수의 변화도 반영하여 최근 출원 건수가 많은 회사에 대해서는 연구개발이 활발히 이루어지고 있다는 반영이므로, 보다 더 세심히 관심을 기울여 사전 분석을 통해 침해를 미연에 방지할 필요가 있다고 판단된다.

PRT 기술 분야별로 살펴보면 AGV 시스템 기술을 포함하고 있는 운행제어 기술분야는 개발 및 연구가 많이 진행된 것으로 조사되었으나, 기타 분야는 현재까지 특허 출원이 미미한 상태이다. 따라서 PRT 기술 분야 시장을 선점하고 원천특허를 확보하기 위한 전략을 추진한다면 시장에서 선도 국가로서 자리매김 할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 특허 전략 및 연구 전략의 제안

특허동향 분석을 위해 선정된 총 952건의 기술에 대해서 피인용도에 따라 주요 특허를 선정하고 심층 분석을 실시하였다. 기술 흐름도를 통해 살펴본 PRT 기술은 전체적으로 1990년대를 중심으로 PRT 운행제어 기술 연구가 두드러지게 나타나고 있는 것으로 분석되었다.

PRT 운행제어 기술은 양적으로는 Murata Machinery를 중심으로 연구개발 이루어지고 있다. 그러나 피인용 측면에서 살펴볼 때 Matsushita Electric을 중심으로 기술을 발전시키고 있는 것으로 사료된다. Matsushita Electric은 1997년부터 2002년까지 13건의 특허를 출원하였으며, AGV, AGV 운행 제어방법 및 AGV를 위한 2차 전지의 충전 제어 등에 관한 특허를 출원하고 권리를 확보하고 있다.

FMC의 경우, AGV의 guidance와 Navigation system을 중점적으로 연구하였으며, Shinko Electric의 경우, 전방향 운행이 가능한 AGV 기술에 대한 연구가 활발하게 진행

되고 있다. Murata Kikai의 경우, AGV 시스템과 AGV 시스템의 Navigation 기능과 관련하여 권리를 확보하고 있다.

기타 주요 기술로는 PRT 차량이 정거장에 정지했을 때 급속충전을 실시하는 기술, 차량 조향 기술 및 안내유도 관련 기술 등이 있으나, 현재 기술에 대한 자세한 권리확보가 이루어지고 있지 않는 것으로 파악된다. 이에 따라, 주요 출원인의 PRT 특허와의 비교분석을 통해 기술 침해를 방지하고 침해 가능성이 있는 특허에 대한 대응 및 회피 방안을 마련해야 할 것으로 사료된다.

PRT 기술에 대한 향후 시장 경쟁력을 높이기 위해서는 관련 기술을 지속적으로 발굴하고 국내외 경쟁기업과의 기술 우위 확보를 위해서 R&D 강화를 통한 IP전략을 수립해야 할 것이다. PRT 기술에 대해서는 획득하고자 하는 권리를 구체화하고, PRT 시스템을 위한 구조적 구성을 권리획득 부분으로 선정하여 새로운 PRT 차량, 선로구축 및 전력공급 분야의 기술 개발 시 차별성을 높일 경우, 효과적인 지재권 확보가 가능할 것으로 예상된다.

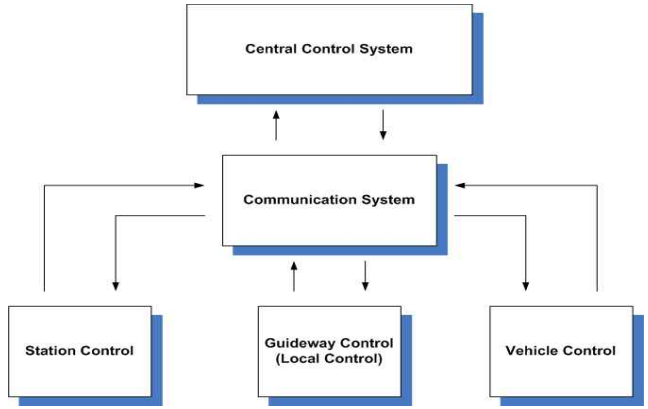
더불어 기술 개발 시 기존의 PRT 기술을 참조하여 새로운 차량기술 및 구동 제어 기술을 창출하고 디자인을 업그레이드시킴은 물론, 중복 연구개발을 방지하고 대체기술 또는 회피설계를 통해 특허 권리확보 전략을 체계적으로 추진해 나가야 할 것으로 사료된다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

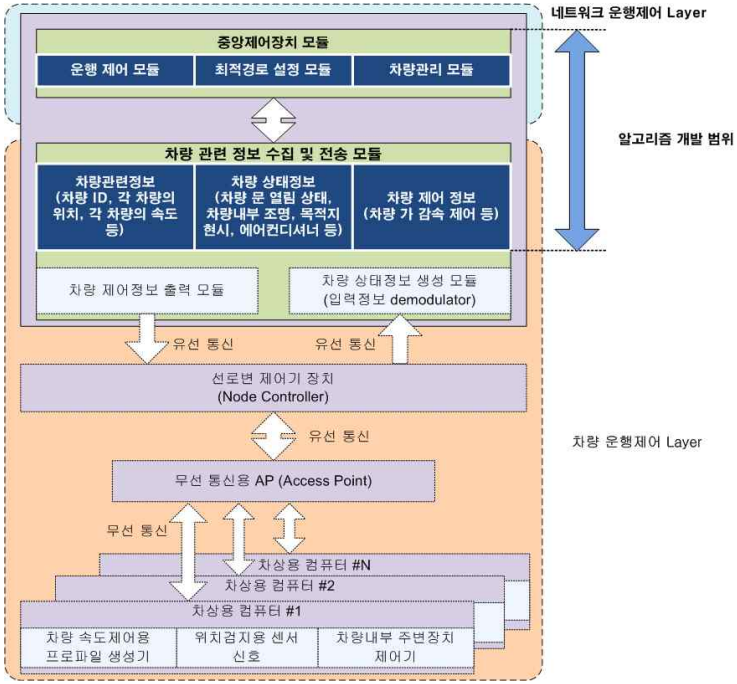
제1절 PRT 운행제어 기본설계

1. PRT 운행제어시스템의 기능

PRT 네트워크 운행제어 알고리즘 설계를 위해 PRT 시스템의 하부 시스템을 중앙제어 시스템(CCS: Central Control System), 역 제어 시스템(SCS: Station Control System), 선로 변 제어 시스템(GCS: Guideway Control System), 차량 제어 시스템(VCS: Vehicle Control System)으로 구분한다. 각 하부 시스템 간의 원활한 인터페이스 및 중앙 제어 시스템에서 차량 제어 시스템으로 제어 명령의 전달을 위해서, 중앙 제어 시스템, 역 제어 시스템, 선로 변 제어 시스템은 유선 통신망에 의해서 연결되고, 선로 변 제어 시스템과 이동중인 차량 제어 시스템간은 무선 통신망에 의해 연결된다.



<그림 3.1.1> PRT 운행제어 구조



<그림 3.1.2> PRT 운행제어 계층

가. 서브시스템 별 기능

다음의 표 3.1.1은 각 서브시스템별 기능 및 약어를 설명하고 있다. 각각의 기능은 개념설계 단계에서 정의되어 졌으며, 앞으로 계속적인 연구를 통하여 기본설계 및 상세설계 단계를 거치면서 개념설계 단계에서 정의된 각 서브시스템별 기능의 보완이 이루어져야한다고 고려된다.

<표 3.1.1> 각 서브시스템별 기능

분류	약 어	용 어	해 설
중앙제어시스템 (CCS)	CTCS	제어 및 통신시스템 Control and Communication System	PRT의 운행제어를 위한 전체장치 및 제어시스템
	CCS	중앙제어시스템 Central Control System	운행제어시스템을 관장하는 최상위 제어시스템
	CCU	중앙통신제어장치 Central Communication Unit	SCS와 통신제어를 수행하는 CCS의 하부장치
	CCDU	중앙제어표시기장치 Central Console & Display Unit	MMI를 수행하는 CCS의 하부장치
	CPU	중앙처리장치 Central Process Unit	운행제어 알고리즘을 연산하는 CCS의 하부장치
	CPDU	중앙주변장치 Central Peripheral Device Unit	CPU를 제외한 CCS의 하부장치집단
역제어시스템 (SCS)	SCS	역제어시스템 Station Control System	운행제어시스템 제어를 위한 역단위 제어시스템
	SCU	역통신제어장치 Station Communication Unit	CCS 및 GCS와 통신을 수행하는 SCS의 하부장치
	CAU	충돌방지장치 Collision Avoidance Unit	차량간 충돌방지를 위한 SCS의 하부장치
	SCPU	역중앙처리장치 Station Central Process Unit	역제어 알고리즘을 연산하는 SCS의 하부장치
	SVRCU	역차량진로제어장치 Station Vehicle Route Control Unit	차량의 진로를 제어하는 SCS의 하부장치
	SMCU	역병합제어장치 Station Merge Control Unit	차량병합제어를 수행하는 SVRCU의 하부장치
	SDCU	역분기제어장치 Station Diverge Control Unit	차량분기제어를 수행하는 SVRCU의 하부장치
	SVSCU	역차량정지제어장치 Station Vehicle Stop Control Unit	역내 차량의 정위치정차를 제어하는 SCS의 하부장치
	SVDOU	역차량출입문제어장치 Station Vehicle Door Operation Unit	역내 차량의 출입문을 제어하는 SCS의 하부장치
	SVDOCU	역차량출입문개방제어장치 Station Vehicle Door Open Control Unit	역내 차량의 출입문을 개방하는 SVDOU의 하부장치
	SVDCCU	역차량출입문폐쇄제어장치 Station Vehicle Door Close Control Unit	역내 차량의 출입문을 폐쇄하는 SVDOU의 하부장치
	SDCU	역행선안내제어장치 Station Display Control Unit	역내 차량의 행선지를 현시하기 위한 SCS의 하부장치
	SPIPU	역내승객행선입력장치 Station Passenger Input Process Unit	역내 승객의 행선입력을 처리하는 SCS의 하부장치

<표 3.1.1> 각 서브시스템별 기능(계속)

분류	약 어	용 어	해 설
선로변제어시스템(GCS)	GCS	선로변제어시스템 Guideway Control System	선로변에 설치되어 무선송수신을 통해 차량을 제어하고, 분기병합감시를 수행하는 시스템
	GCU	선로변통신장치 Guideway Communication Unit	SCS와 GCS의 데이터 송수신을 위한 GCS의 하부장치
	GCPU	선로변중앙제어장치 Guideway Central Process Unit	선로변제어 알고리즘을 연산하는 GCS의 하부장치
	GVSDU	선로변차량진출입검지장치 Guideway Vehicle Switching Detection Unit	분기병합부의 차량진출입을 검지하기 위한 GCS의 하부장치
	GVPTU	선로변차량위치전송장치 Guideway Vehicle Position Transceiver Unit	GCS가 관할하는 지역내의 차량위치를 VCS와 SCS의 송수신을 지원하는 장치
	GVIDTU	선로변차량번호전송장치 Guideway Vehicle ID Transceiver Unit	GCS가 관할하는 지역내의 차량번호를 VCS와 SCS의 송수신을 지원하는 장치
	GVDOTU	선로변차량출입문개폐검지장치 Guideway Vehicle Door Operation Transceiver Unit	GCS가 관할하는 지역내의 차량출입문상태를 VCS와 SCS의 송수신을 지원하는 장치
	GVFSRU	선로변차량고장상태보고장치 Guideway Vehicle Failure Status Report Unit	GCS가 관할하는 지역내의 차량고장상태를 SCS가 모니터링하기 위한 장치
차량제어시스템(VCS)	VCS	차량제어시스템 Vehicle Control System	차상에 설치되어 무선통신을 통해 차량의 속도제어 및 분기병합제어를 수행하는 시스템
	VRFU	차량무선송수신장치 Vehicle RF Unit	GCS로 차량의 상태정보를 송신하고, 제어정보를 수신하는 VCS의 하부장치
	VCPU	차량중앙제어장치 Vehicle Central Process Unit	차량제어 알고리즘을 연산하는 VCS의 하부장치
	VACU	차량가속제어장치 Vehicle Acceleration Control Unit	VCPU로부터 가속정보를 받아 추진장치와 인터페이스하는 VCS의 하부장치
	VSCU	차량병합분기제어장치 Vehicle Switch Control Unit	차량이 병합분기부를 통과하여 GCS에 확인을 전송하기 위한 VCS의 하부장치
	VESCU	차량비상제동제어장치 Vehicle Emergency Stop Control Unit	차량의 고장이나, GCS의 요청에 의해 비상제동을 수행하는 VCS의 하부장치
	VBOU	차량상용제동제어장치 Vehicle Braking Operation Unit	VCPU에서 생성된 속도파라미터에 의해 차량을 감속시키는 VCS의 하부장치
	VDOU	차량출입문제어장치 Vehicle Door Operation Unit	VCPU에서 생성된 출입문 개폐명령을 수행하는 VCS의 하부장치
	VSDU	차량자기검사장치 Vehicle Self Diagnostic Unit	VCS 하부장치를 실시간 진단하는 VCS의 자기진단장치
	VPSU	차량측위장치 Vehicle Position Sensing Unit	VCS의 위치를 위성항법장치, 관성센서, 타코메타를 이용하여 실시간 검측하고 VCPU로 위치를 전송하는 VCS의 하부장치
	VDCU	차량행선안내제어장치 Vehicle Display Control Unit	차량 내외부에 행선지를 현시하기 위한 VCS의 하부장치

나. 시스템의 범위 및 장치 구성도

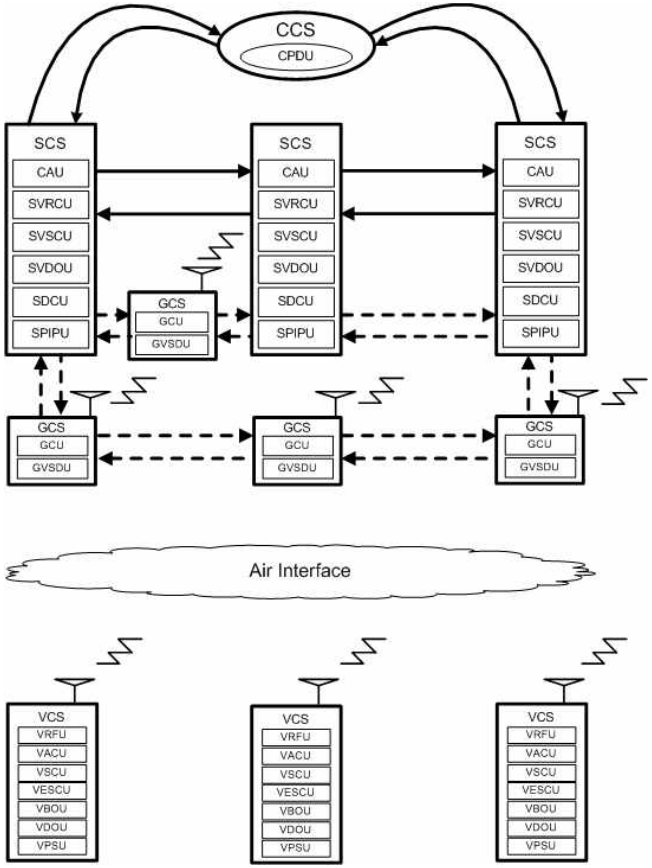
PRT 운행제어는 집중제어개념의 설계를 초안으로 제시한다. 분산제어방식은 차량간의 통신을 기반으로 차량간의 최소간격확보를 추구하나, 병합점에서의 차량간 통신링크 확보여부에 따라 안전이 좌우되는 분산제어방식은 차량간의 최소간격유지가 필요한 주선로 구간이 장거리가 아닌 노선에 대해서는 분산제어방식의 필요성이 떨어진다. 따라서, 차량의 제어기 구조가 단순하고 중앙집중화에 따른 시스템 복잡도의 감소에 따른 안전성 확보가 용이한 집중제어방식을 차량제어방식의 기본적인 방식으로 제시한다. 집중제어방식은 안전거리확보를 기본제어개념으로 하고 있으며, 차량의 추진 및 제동 등과 같은 성능에 따라 확보해야 할 안전거리의 단축이 가능하다. 다음 표 3.1.2는 집중제어 개념의 운행제어 알고리즘 개발을 위한 설계 전제 조건을 나타낸다.

<표 3.1.2> 집중제어개념의 설계를 위한 설계전제

목 록	설계전제	기 타
차량수량	4 대	
역사수량	4 개소	
선로변제어기 수량	8 개소	
차량최대속도	60 km/h (변경될 수 있음)	
차량과 무선인터페이스 대상	선로변제어기	
운전시격	10초 이하 (변경될 수 있음)	시뮬레이션에 의해 최소 2초까지 가능함을 확인
신뢰도목표	MTBF 100,000 Hour (단품 단위)	IEC62278 SIL4 기준
유지보수도목표	2 Hour 이내 (고장인지 후 시스템 재가동 시 까지)	
안전성목표	안전성확보	IEC62278에 따른 검증
동작온도 및 습도	-25℃ ~ 40℃(외기)	
동작진동	-	
EMI조건	-	

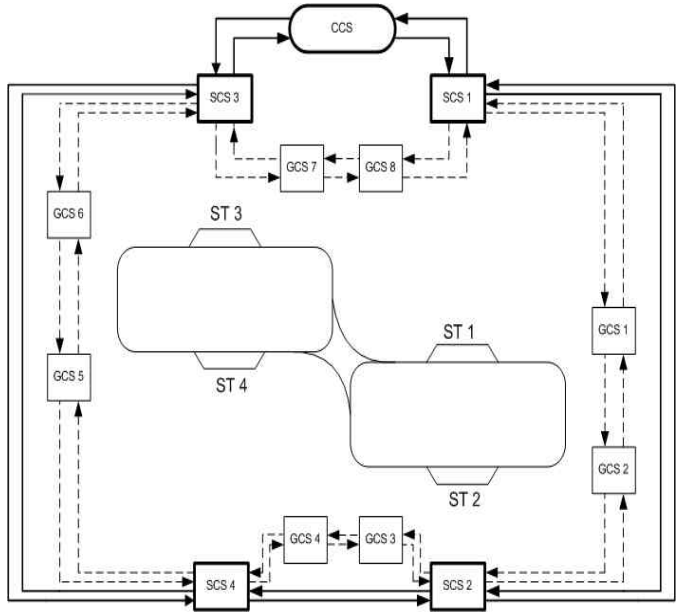
그림 3.1.3과 그림 3.1.4는 각각 네트워크 운행제어시스템의 개념 구성도와 네트워크 운행제어시스템의 지상 장치 구성도를 보여준다. 그림 3.1.3에서 보듯이 운행제어 알고리즘

은 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System), 역 제어 시스템(SCS: Station Control System), 선로 변 제어 시스템(GCS: Guideway Control System), 차량 제어 시스템(Vehicle Control System) 으로 구성되며 각각의 제어 시스템은 선로 상에서 운행 중인 차량이나 역에 정차 중인 차량들의 원활한 제어를 위해서 서로 유기적인 정보 전송이 가능하도록 구축 되어야 한다. 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)에서 직접 차량을 통제하기 위해서는 그림 3.1.3에서 보는 것처럼 중앙 제어 시스템의 제어 명령은 역 제어 시스템을 경유해서 선로 변 제어 시스템에 유선 통신망에 의해서 도달하고, 선로 변 제어 시스템에서는 무선 통신 망에 의해서 차량 제어 시스템에 도달한다.



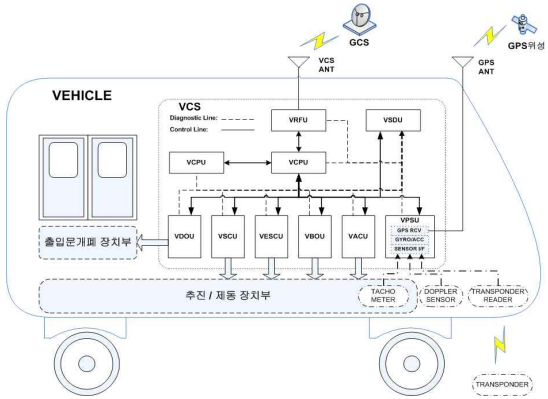
<그림 3.1.3> 운행제어시스템의 개념구성도

그림 3.1.4는 4 개의 역을 갖는 노선에 중앙 제어 시스템, 역 제어 시스템, 선로 변 제어 시스템에 통신의 신뢰성 및 안전성을 보장하기 위해서 자기치료 링(SHR: Self Healing Ring)방식에 의해서 구축된 2중계 유선 통신망을 보여준다. SHR 통신망 방식은 어느 하나의 하부 제어기에 고장이 발생해서 작동이 멈추더라도 하부시스템의 고장이 전체 시스템에는 영향을 미치지 않는 구조를 갖는다.



<그림 3.1.4> 운행제어시스템의 지상 장치 구성도

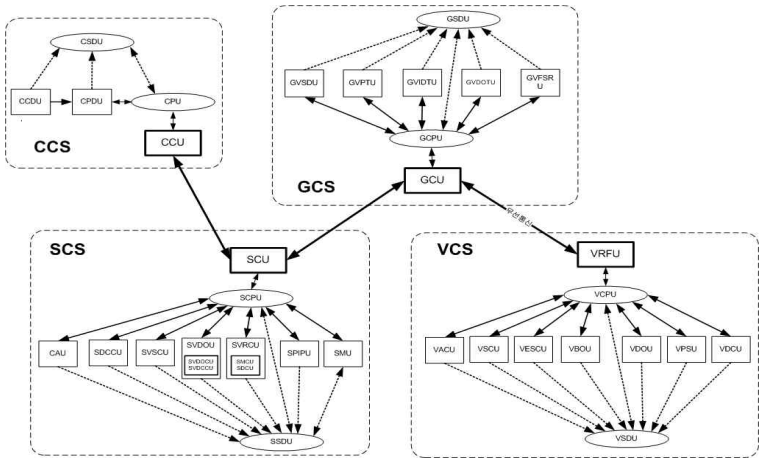
그림 3.1.5는 소형궤도 차량 운행제어 알고리즘을 구현하기 위해서 필요한 차상장치를 나타낸다. 그림 3.1.5에서는 차량의 위치와 속도를 검출하기 위해서 두 가지 방식을 제안하고 있다. 하나는 높은 감도를 갖는 DGPS(Differential Global Positioning System)를 이용해서 차량의 위치를 검지하고 Tachometer, Doppler Sensor를 사용해서 차량의 속도를 검출하는 방식이며, 다른 하나는 차량용 Transponder와 지상용 Transponder를 이용해서 보다 정밀하게 차량의 위치 검지를 검지하고 차량의 속도를 검출하기 위해서 Tachometer, Doppler Sensor를 사용하는 방식이다.



<그림 3.1.5> 운행제어시스템의 차상 장치 구성도

다. 서브시스템의 기능적 인터페이스

그림 3.1.6은 소형궤도 차량 운행 제어 시스템에 대한 하부 제어시스템 간의 기능적 인터페이스를 보여준다. 각 제어 시스템들은 각각의 기능들을 수행하기 위해서 모듈화된 부 시스템들로 구성되고 이들 부 시스템들은 각 시스템들이 갖고 있는 자가진단 모듈에 의해서 감시된다.

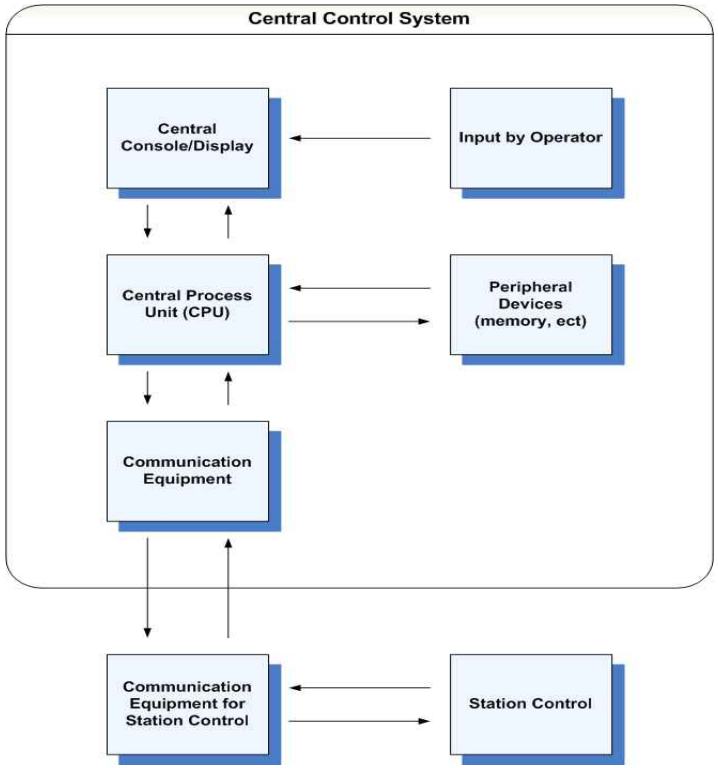


<그림 3.1.6> 각 제어시스템의 기능적 인터페이스 개략도

(1) 중앙제어시스템(CCS: Central Control System)

중앙제어 시스템은 소형궤도 차량 시스템의 제어 알고리즘을 운행하고 선로 상의 차량 및 역에 정차 중인 차량의 통제 및 모니터링을 담당하며 역 제어 시스템과 인터페이스하여 다음의 기능을 수행한다.

- 모드선택에 의한 운행시나리오 수행
- 운행정보 출력기능
- 데이터 수집
- 운행DB 관리기능
- SHR 관리기능
- 자기진단기능



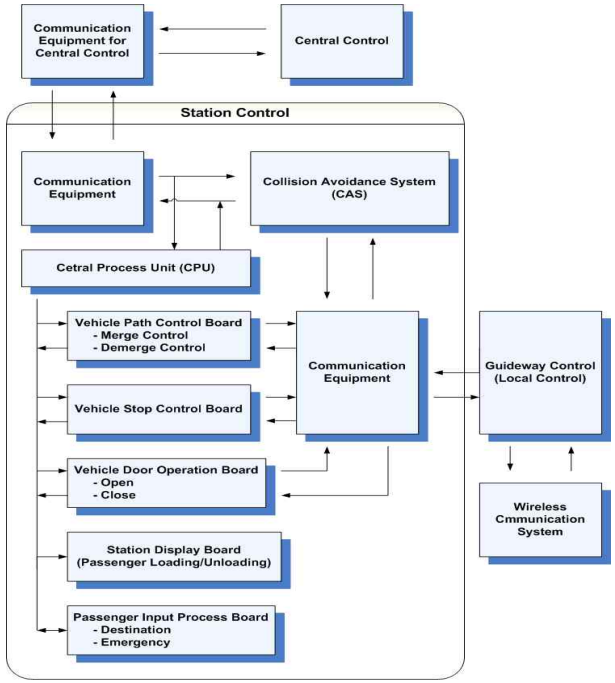
<그림 3.1.7> 중앙 제어 시스템의 개념적 구성도

(2) 역 제어 시스템(SCS: Station Contrtol Syatem)

역 제어 시스템은 각 역에 위치하고 중앙 제어 시스템 및 선로 변 제어 시스템과 인터페이스하여 다음의 기능을 수행한다.

- VCS로부터 입력된 차량의 위치정보를 CCS로 전송
- 승객의 요구정보를 CCS로 전송
- 차량이동에 따른 VCS와 GCS의 정보를 Hand-Over
- 자동 발매기에 의해서 생성되는 정보 처리
  (목적지 선택, 선택된 목적지의 집계)
- SHR관리기능
- 자기진단기능

그림 3.1.8은 역 제어 시스템의 기본 구성도를 나타낸다.

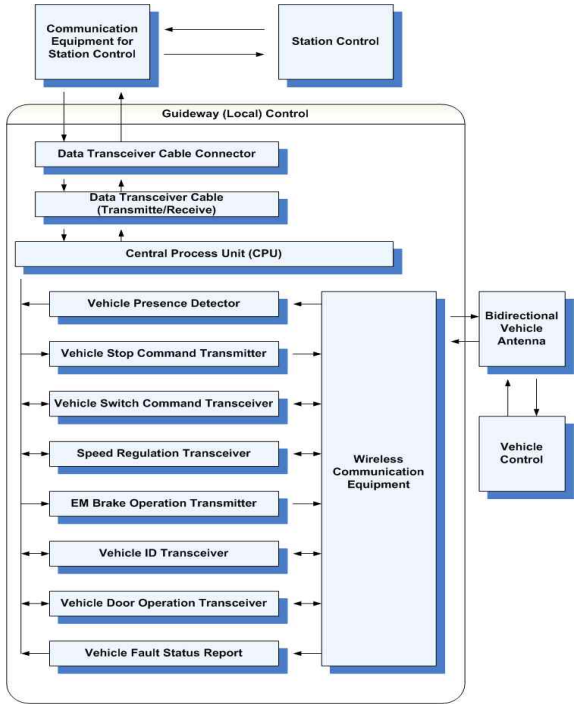


<그림 3.1.8> 역 제어 시스템의 기본 구성도

(3) 선로 변 제어시스템(GCS: Guideway Control System)

선로 변 제어 시스템은 역 제어 시스템과 차량 제어 시스템간의 무선 인터페이스를 제공한다.

- VCS로부터 수신된 각종의 정보를 SCS로 전송
- SCS로부터 차량의 제어를 위한 각종의 명령 신호를 VCS로 전송
- SHR관리기능
- 자기진단기능



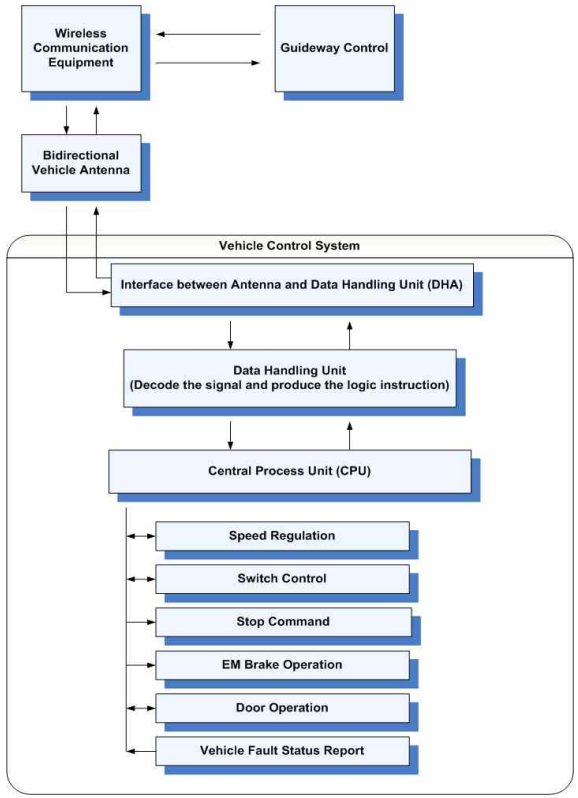
<그림 3.1.9> 선로 변 제어 시스템의 개념적 구성도

그림 3.1.9는 선로 변 제어 시스템의 개념적인 구성도를 나타내고 있으며, 그림에서 보듯이 선로 변 제어 시스템은 무선통신망을 통하여 차량제어 시스템과 인터테이스 되며 차량의 상태 정보를 중앙 제어 시스템에 전송하기 위해서 역 제어 시스템과 인터페이스 한다.

(4) 차량 제어 시스템(VCS: Vehicle Control System)

차량 제어 시스템은 선로 변 제어 시스템과 무선 통신 망으로 연결 되어 있으며, 차량의 원활한 통제를 위해서 다음의 기능을 수행한다.

- 속도프로파일에 따른 추진 및 제동제어
- 승객승차확인 입력에 따른 처리
- 차량 문 개폐 처리
- 자기진단기능
- On-Board Switching 기능



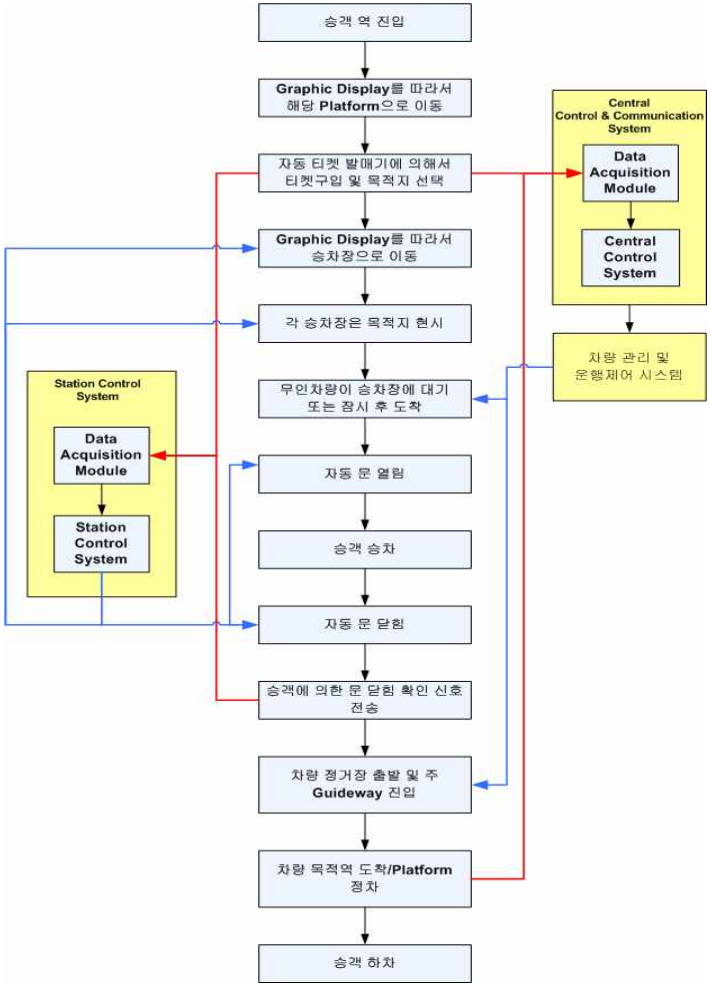
<그림 3.1.10> 차량 제어 시스템의 기본 구성도

그림 3.1.10은 차량제어 시스템의 기본 구성도를 보여준다. 차량의 통제는 중앙 제어 시스템에서 역 제어 시스템, 선로 변 제어 시스템을 경유해서 전달되는 명령 신호에 의해서 행해지고 차량 제어 시스템은 차량 자체의 상태 정보를 선로 변 제어 시스템을 경유해서 역 제어 시스템에 전송한다.

2. 운행모드

가. 기본 운행 시나리오

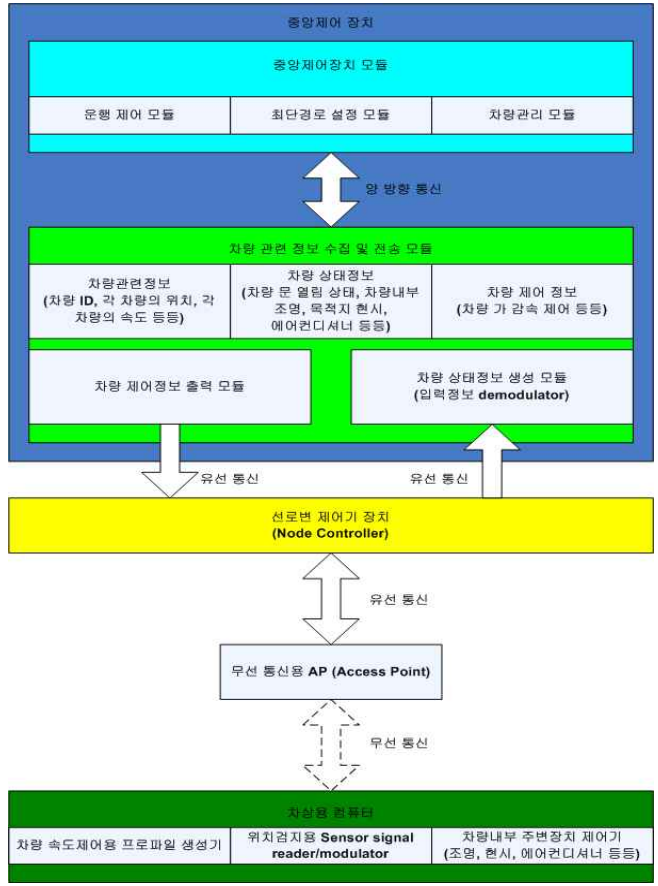
본 절에서는 PRT 시스템의 기본 개념에 포함되어 있는 출발지에서 목적지까지 무정차에 의한 완전 무인운전 방식을 구현하기 위해서, 승객이 역에 진입해서 목적지를 선택하고 차량에 탑승한 후 목적지 역에서 하차하기 까지를 기본 운행 시나리오로 정의한다. 그림 3.1.11은 프로세스에 대한 간단한 개념적인 흐름을 나타낸다. 그림에서 보듯이 PRT 시스템의 기본 운행 시나리오는 14 단계로 이루어지며, 각 단계별 운행제어 시스템의 software module (routine)은 기본 소프트웨어의 확장성을 확보하기 위해서 모듈화하는 것을 기본으로 하여 구성한다. 특히 그림에서 보이는 중앙제어 및 통신 시스템 (Central Control & Communication Systems)은 PRT 차량의 제어 알고리즘을 운행하고 선로 상의 차량 및 역에 정차 중인 차량의 통제 및 모니터링을 담당하며 역 제어 시스템 (Station Control Systems)과 인터페이스하여 운행 모드선택에 의한 운행시나리오 수행, 운행정보 출력기능, 데이터 수집운영, DB 관리기능, 통신시스템 관리기능, 자기진단기능 등을 수행한다. 또한 역 제어 시스템 (Station Control Systems)은 각 역에 위치하고 중앙 제어 시스템 및 선로 변 제어 시스템과 인터페이스하여 VCS (Vehicle Control System)로부터 입력된 차량의 위치정보를 CCS (Central Control System)로 전송, 승객의 요구정보를 CCS로 전송, 차량이동에 따른 VCS와 GCS (Guideway Control System)의 정보를 Hand-Over, 자동 발매기에 의해서 생성되는 정보 처리(목적지 선택, 선택된 목적지의 집계), 통신 관리기능, 자기진단기능 등을 수행한다. 그림에서 GCS (Guideway Control System)은 나타내져 있지 않지만 GCS는 차량의 정보를 무선통신망에 의해서 CCS 및 SCS (Station Control System)로 전송하기 위한 중계 역할을 수행한다. 마지막으로 그림에 보이는 차량관리 및 운행제어 시스템은 PRT 시스템에서 가장 핵심적은 역할을 수행하면 최단 경로 설정 및 차량의 관리, 운행제어 전반에 걸쳐서 CCS와 정보를 송수신하면서 PRT 시스템을 통제한다.



<그림 3.1.11> 기본운행 시나리오 개념도

나. 차량관리 및 운행제어 시스템

그림 3.1.12는 PRT 차량의 운행제어 시나리오를 구현하기 위한 차량관리 및 운행제어 하드웨어 구성을 보여주고 있다. 그림에서 보이는 것처럼 장치는 중앙제어장치, 선로변 제어장치, 차상용 컴퓨터로 구성된다. 또한 선로변 제어장치와 차량용 컴퓨터 사이에는 무선 통신이 가능하도록 하는 무선통신용 액세스 포인트(Access Point)가 설치된다.



<그림 3.1.12> 차량관리 및 운행제어 시스템의 구조적 개념도

(1) 중앙제어장치

중앙제어장치는 소형궤도 차량 운행제어 시스템을 관리하고 제어하는 역할을 하며, 상위 제어 레벨과 하위 제어 레벨로 이루어진다. 상위 제어레벨은 차량 운행제어 모듈, 최단경로 설정 모듈, 차량관리 모듈로 구성되고, 하위 제어레벨은 차량의 제어정보 전송 및 차량 상태정보 수집 모듈로 구성된다. 이 가운데에서 차량에 출발 허가 및 권한을 부여하기 전에 승객의 차량대기시간을 단축시키고 운행노선의 효율적인 운용을 위한 최단경로 설정 알고리즘을 운용한다. 최단 경로 설정 알고리즘을 효율적으로 운용하기 위해서는 알고리즘에서 필요로 하는 정보를 제공해야 하며 중앙제어장치는 각 하부 시스템으로

부터 알고리즘이 필요로 하는 정보를 수집해서 최단경로 설정 알고리즘에 공급하는 역할을 수행한다.

(2) 선로변 제어장치

선로변 제어장치는 중앙제어장치와 말단의 하부장치와의 원활한 정보 전송을 위한 연결 수단으로 활용된다. 중앙제어장치와 말단의 하부 장치가 직접 정보전송을 하지 않는 이유는, 직접 정보정송을 하기 위해서는 선로상의 차량은 계속 이동하기 때문에 통신 시스템은 무선통신망으로 구축해야 하고, 무선통신망에 의한 원거리 정보전송의 신뢰성을 확보하는 것이 쉽지 않기 때문 중앙제어장치와 말단의 하부 장치 사이에는 선로변 제어장치를 경유해서 정보를 전송하는 것으로 구성한다.

(3) 차상용 컴퓨터

차상용 컴퓨터는 PRT 운행제어 시스템에서 필요로 하는 차량의 각종 상태정보를 선로변 제어장치를 통해서 중앙제어장치에 전송하는 역할을 수행하며 전송되는 정보 중에는 최단경로 설정 알고리즘에서 반드시 필요로 하는 정보도 포함되어 있다. 최단경로 설정 알고리즘은 선로 상에서 운행 중인 차량들의 현재위치, 속도, 목적지 등에 대한 정보를 선로변제어기를 통해서 차상용 컴퓨터로부터 주기적으로 전송 받으며 이러한 정보들을 바탕으로 해서 최단경로 설정 알고리즘은 역에서 출발 대기 중인 차량이 선로 상에서 운행 중인 차량들의 설정 경로를 방해하지 않고 목적지까지 갈수 있는 최단경로를 설정한다.

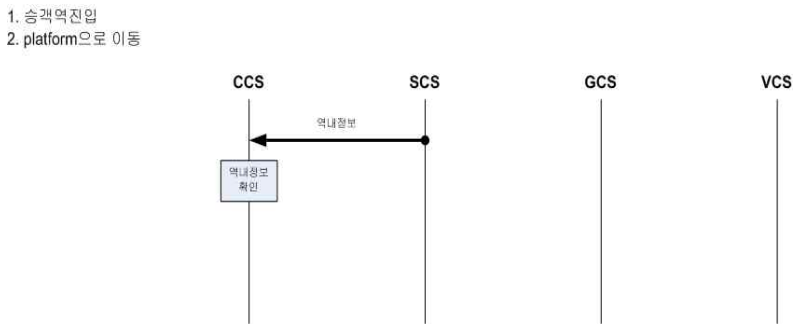
(4) 차량위치검지용 센서 시스템

차량위치검지용 센서 시스템은 최단경로 설정 알고리즘의 구현을 위해서 매우 중요한 역할을 수행한다. 최단 경로설정 알고리즘이 효율적으로 운용되기 위해서는 중앙제어장치가 필요로 하는 정보를 주기적으로 공급해야 하며 이들 정보들 중에서 가장 중용한 정보 중의 하나가 현재 노선에서 운행 중인 차량들의 위치에 관한 정보이다. 차량의 위치에 관한 정보는 기존의 열차제어 시스템에서는 궤도를 이용해서 열차의 위치를 파악하는 것이 가능하지만 PRT 시스템에서는 궤도를 이용하지 않고 guideway를 이용하기 때문에 특수한 차량위치 검지 시스템이 도입 되어야한다. 차량위치 검지 시스템으로 활용될 수 있는 방법의 하나는 guideway 상에 주기적인 간격으로 물리적인 센서를 설치하고 차량이 이 센서를 통과 할 때 차량의 현재 위치를 차상용 컴퓨터를 통해서 선로변 제어장치에 전송하는 방식을 활용 할 수 있다.

다. 기본운행 시나리오의 단계별 정보흐름 시퀀스

(1) 승객 역 진입

그림 3.1.13은 승객이 역에 진입 시 정보의 흐름을 나타낸다. 승객의 역 진입 상황은 중앙제어장치가 있는 중앙제어실의 모니터를 통한 작업자(Operator)에 의해서 감시된다.



<그림 3.1.13> 승객 역 진입 시 정보 흐름도

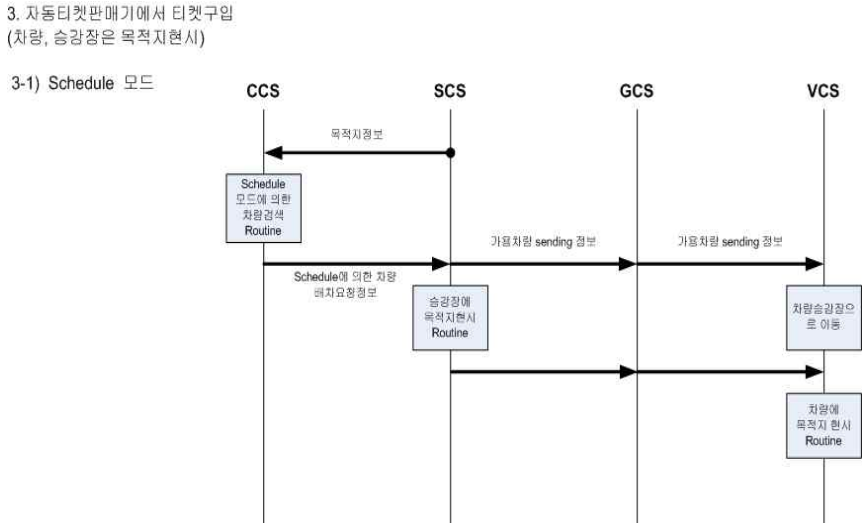
(2) Graphic Display를 따라서 해당 Platform으로 이동

역에 진입한 승객은 해당 정차장을 표시하는 Graphic 표지판을 따라서 티켓을 구입하기 위해서 이동하고 작업자(Operator)에 의해서 감시된다.

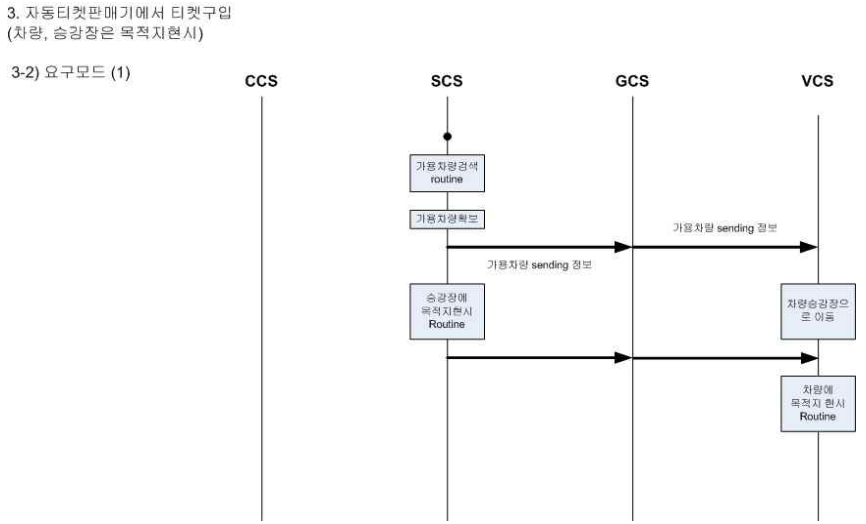
(3) 자동티켓 발매기에 의해서 티켓 구입 및 목적지 선택

자동티켓 발매기에 의해서 승객이 목적지를 선택하면 선택된 목적지 정보는 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)에 전달된다. 이때 역 제어 시스템은 운전 모드가 스케쥴 모드 일 경우에는 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)에 목적지 정보를 전달하고 승객은 다음 스케쥴에 의해서 역에 도착하는 차량에 승차한다. 운전 모드가 요구 모드 일 경우 자동티켓 발매기로부터 목적지 정보를 전달 받은 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)은 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)에 목적 역에 대한 정보를 보내고 현재 역에서 대기 열에 있는 빈 차량을 찾는 처리를 시작한다. 만약 대기 열에서 빈 차량을 찾지 못하면 현재 역 전체에서 빈 차량이 있는지를 검색하고 빈 차량이 발견되면 대기 열로 빈 차량을 보낸다. 현재 역 전체에서 빈 차량을 발견하지 못하면 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)은 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)에 빈 차량을 요구 한다. 이 과정은 System Software에

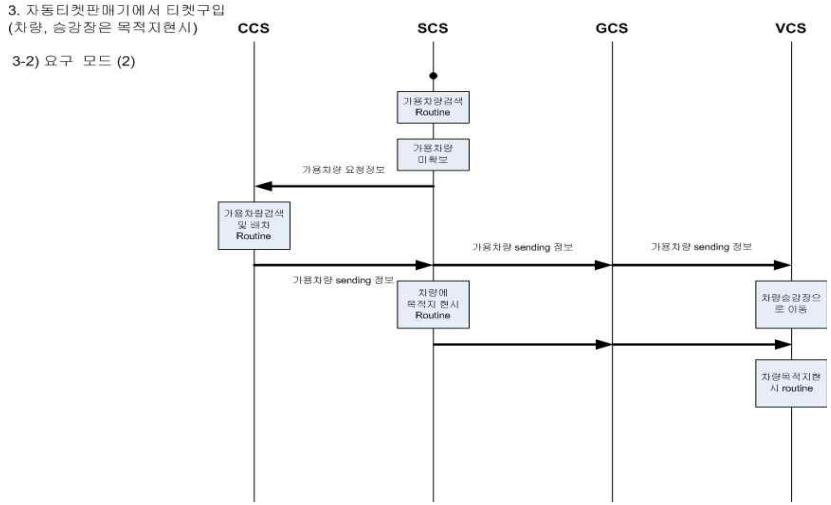
의해서 감시된다. 그림 3.1.14, 3.1.15, 3.1.16은 위에서 설명한 각각의 운행 모드에 대한 정보 흐름을 보여준다.



<그림 3.1.14> 목적지 선택 후 스케쥴 모드의 정보 흐름



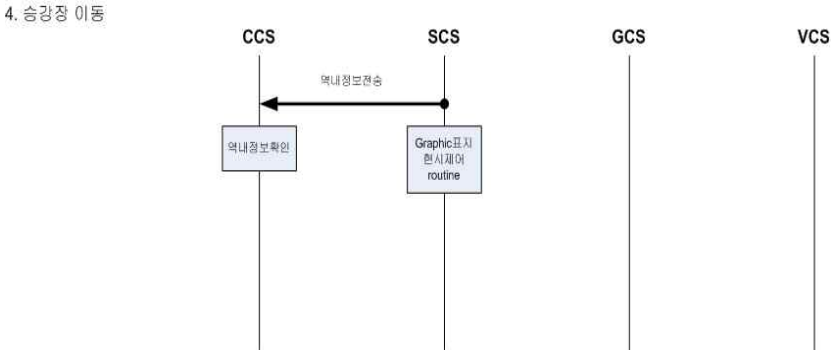
<그림 3.1.15> 목적지 선택 후 요구모드(1)의 정보 흐름



<그림 3.1.16> 목적지 선택 후 요구모드(2)의 정보 흐름

(4) Graphic Display를 따라서 승차장으로 이동

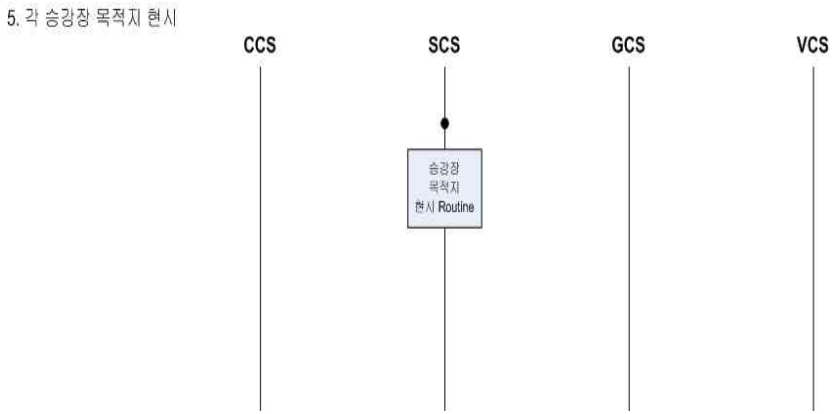
그림 3.1.17은 승객의 목적지 선택 후 승객을 승차장으로 유도하기 위해서 역 현시제어에 대한 정보 흐름을 나타내고 있으며 그림에서 보듯이 승객이 자동티켓 발매기로 목적지를 선택한 후에는 Graphic 표지판을 따라서 목적지로 가는 차량에 승차하기 위해서 승차장으로 이동하고 이 과정은 중앙제어실의 작업자에 의해서 감시 된다.



<그림 3.1.17> 목적지 선택 후 역 현시제어

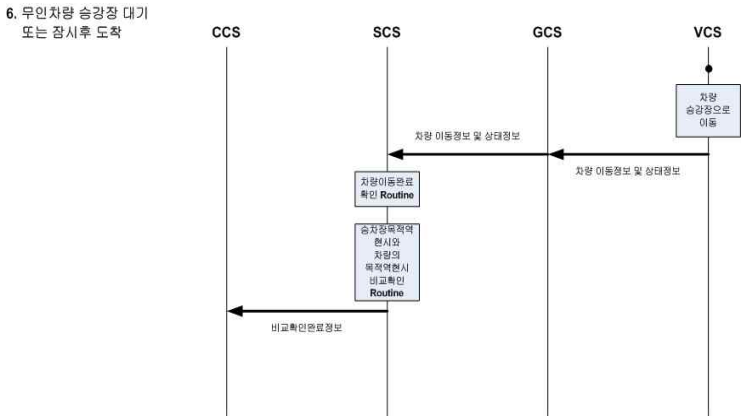
(5) 각 승차장은 목적지 현시

그림 3.1.18은 승차장의 목적지 현시에 대한 정보를 나타내고 있다. 승객이 차량에 승차하기위해서 승차장으로 이동하면 각각의 승차장은 차량의 목적지를 승차장에 현시한다. 이 과정은 시스템 소프트웨어에 의해서 감시된다.



<그림 3.1.18> 승차장 목적지 현시

(6) 무인차량이 승차장에 대기 또는 잠시 후 도착

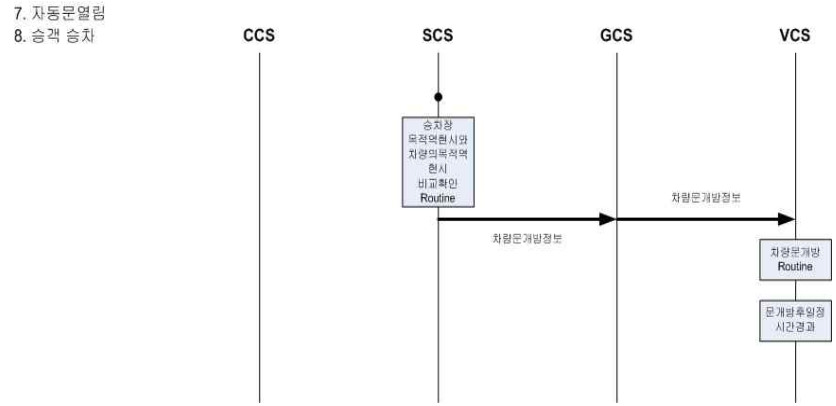


<그림 3.1.19> 무인차량 이동에 대한 정보흐름

그림 3.1.19는 자동 티켓 발매기에 의해서 목적지가 선택되었을 때 빈 차량을 승차장으로 보내기 위한 정보의 흐름을 보여주고 있다. 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)에 의해서 제어되는 무인 차량은 목적지가 선택되면 해당 승차장으로 이동하고 해당 승차장으로 이동이 완료 되면 역제어기는 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)에 승차장에 현시되는 목적역과 승차장에 정차한 빈 차량의 목적 역이 동일함을 전달한다. 이 과정은 시스템 소프트웨어에 의해서 감시된다.

(7) 자동 문 열림

그림 3.1.20은 차량 문 개방에 대한 정보의 흐름을 나타낸다. 무인차량이 해당 승차장에 정차하면 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)은 차량의 문 개방 명령을 차량 제어 시스템(VCS: Vehicle Control System)에 전달한다. 승객의 승차와 하차를 위한 문 개방 시간은 5초에서 45초이며 개방시간의 변경은 중앙 제어실의 작업자가 변경 할 수 있다. 문 닫힘 확인 신호가 차량 제어 시스템(VCS: Vehicle Control System)으로부터 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)에 전달되지 않으면 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)은 차량을 출발 시키지 않는다.



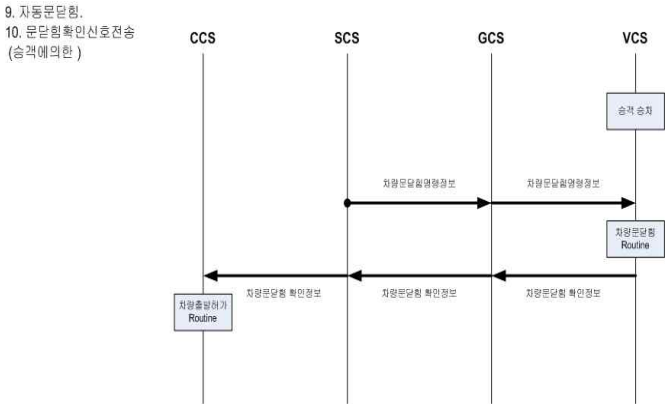
<그림 3.1.20> 차량 문 개방에 대한 정보 흐름

(8) 승객 승차

문이 개방 되면 승객이 승차하고 중앙제어실의 작업자에 의해서 감시된다.

(9) 자동 문 닫힘

그림 3.1.21은 승객의 승차 후 차량의 문 닫힘에 대한 정보의 흐름을 보여준다. 일정한 문 개방 시간이 경과하면 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)은 차량 제어 시스템(VCS: Vehicle Control System)에 차량의 문 닫힘 명령을 전달한다. 차량의 문 닫힘 정보는 승객에 의해서 차량으로부터 선로 변 제어 시스템(GCS: Guideway Control System)과 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)을 경유해서 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)에 전달된다.



<그림 3.1.21> 자동문 닫힘 및 확인 신호 전송을 위한 정보흐름

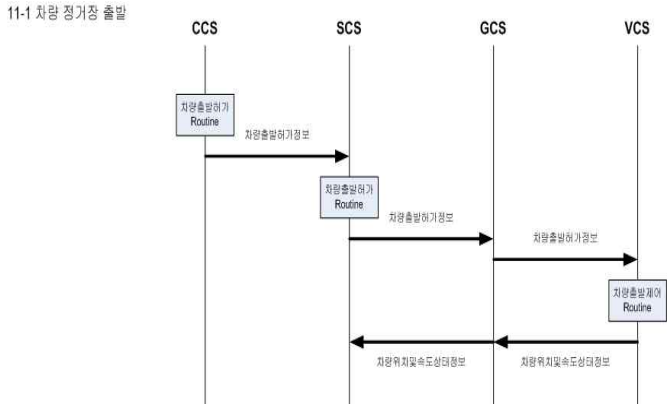
(10) 승객에 의한 문 닫힘 확인신호 전송

차량의 문이 완전히 닫힌 상태에 대한 확인은 차량에 탑승한 승객이 확인 버튼을 누르는 것으로 차량 제어 시스템(VCS: Vehicle Control System)이 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)에 문 닫힘 확인 신호를 전송하는 것으로 이루어진다. 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)은 이 정보를 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)에 전송한다.

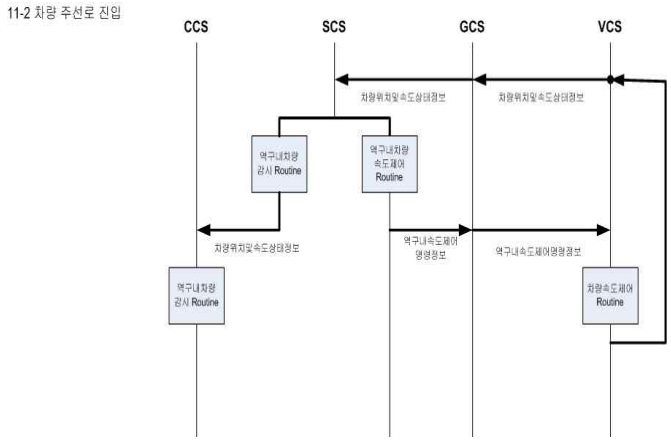
(11) 차량 정거장 출발 및 주 선로 진입

차량의 문 닫힘 확인 신호를 확인한 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)은 차량의 출발 허가 신호를 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)에 전달한다. 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)이 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)에 출발 신호를 부여하는 것은 차량 출발 논리(Vehicle Dispatch Logic)

에 따라서 행한다. 역을 출발한 차량은 정해진 속도 전환에 맞추어 주 선로진입 속도로 가속해야 한다. System Software는 역 승차 지역으로부터 가속 램프까지 차량 위치를 감시해야 한다. 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System) 및 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)은 차량이 위치를 벗어나면 제동을 걸도록 명령해야 한다. 그림 3.1.22는 차량의 정거장 출발에 대한 명령정보와 차량으로부터 feedback되어서 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)에 보고되는 차량의 상태 정보에 대한 흐름을 보여준다.



<그림 3.1.22> 차량 출발에 대한 정보흐름

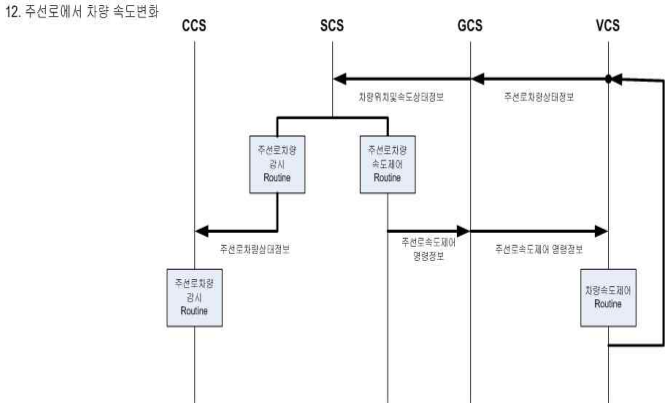


<그림 3.1.23> 차량의 주 선로 진입을 위한 정보 흐름

그림 3.1.23은 차량의 출발 후 역으로부터 주 선로에 진입하기 위한 정보의 흐름을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 차량의 상태 정보는 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)에 주기적으로 보고되고 차량은 미리 정해진 주 선로 진입 속도 프로파일에 의해서 주 선로에 진입한다.

(12) 주 선로에서의 차량 속도 변화

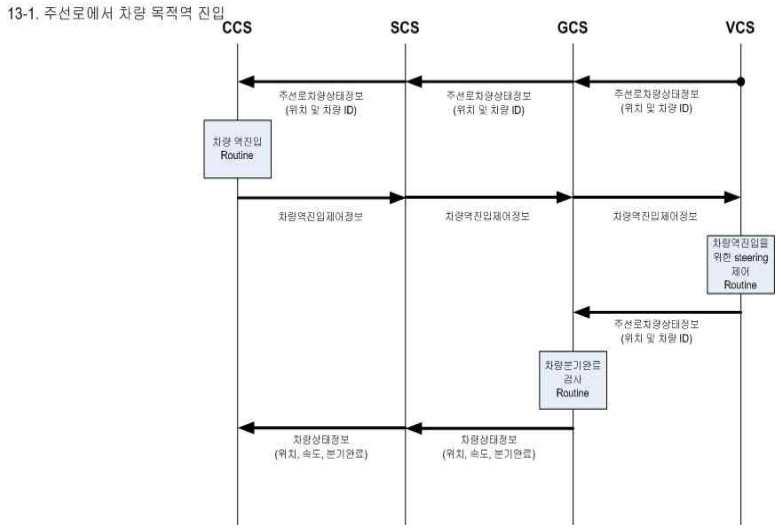
주 선로로 진입한 차량은 속도전환 테이블에 의해서 속도를 전환하고 그림 3.1.24에 보이는 것과 같이 주 선로에서 속도 변환을 위한 정보를 교환한다.



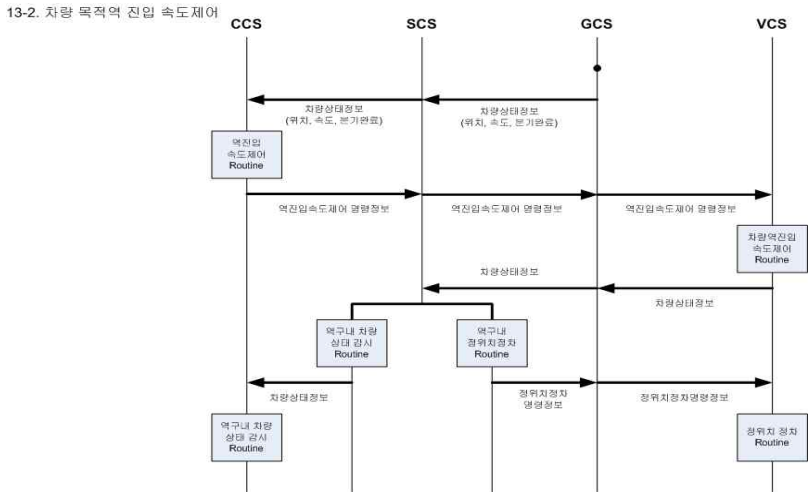
<그림 3.1.24> 주 선로에서 속도 변화를 위한 정보 흐름

(13) 주 선로에서 차량 목적 역 진입

차량이 역에 진입 할 때는 차량의 역 진입 논리 (Vehicle Arrival Logic)에 따라서 이루어지며 차량 제어 방식에 따라서 차량 출발 논리(Vehicle Dispatch Logic)와 연동된다. 그림 3.1.25와 3.1.26은 차량의 역 진입 및 역 진입 속도에 대한 정보의 흐름을 보여준다. 역 진입 속도는 미리 정해진 속도 프로파일을 따른다. 그림에서 보는 것과 같이 차량이 목적 역에 진입하기 위해서는 중앙 제어 장치(CCS: Central Control System)로부터 차량의 목적 역 진입 명령을 수신한 후 차량의 steering 제어 routine에 의해서 차량이 분기 한다. 분기 후에는 분기 완료 검사 routine에 의해서 분기완료 정보가 중앙 제어 시스템에 전달된다.



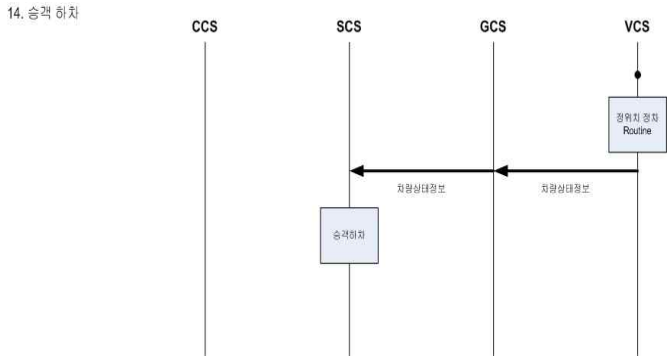
<그림 3.1.25> 주 선로에서 역 진입을 위한 정보 흐름



<그림 3.1.26> 역 진입 속도에 대한 정보의 흐름

(14) 승객 하차

목적 역에 도착한 승객은 하차한다. 그림 3.1.27은 승객의 하차에 대한 정보를 나타낸다.



<그림 3.1.27> 승객 하차에 대한 정보 흐름

3. 운행모드별 시나리오

전반적인 시스템의 운행은 시스템 운영자가 담당하며 중앙제어실의 콘솔에서 시스템의 상태 정보를 얻고, 시스템의 시작, 운행 매개변수의 입력, 및 운행상태 및 운행모드를 선택 한다. 시스템의 운전 상태는 정상상태, 비정상상태로 나눌 수 있으며, 각각의 상태에 따른 운전 모드는 다음과 같다.

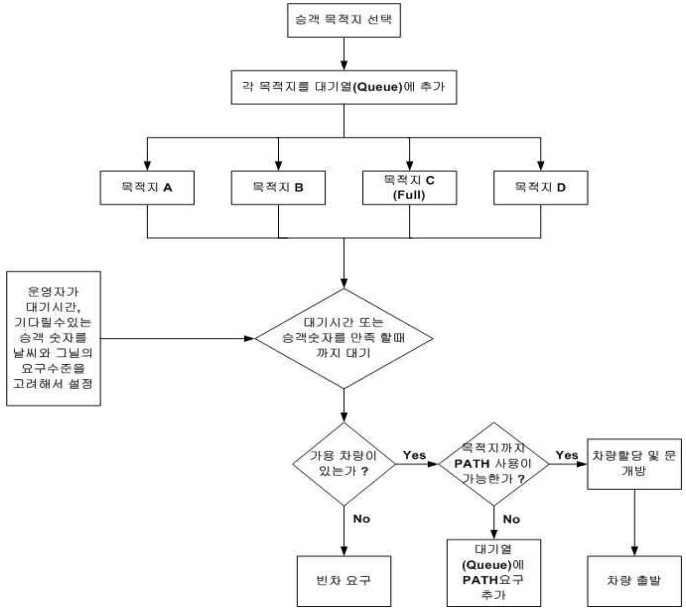
가. 정상상태

시스템의 운전 기능이 완전히 자동제어 하에 있는 상태를 말하며 요구(Demand)모드를 기본 운전 모드로 하며 추후에 시스템의 요구 사양에 따라서 스케쥴(Schedule)모드를 선택 사양으로 추가할 수 있다. 요구모드에서 스케쥴모드 또는 스케쥴모드에서 요구모드로의 전환은 시스템 운영자에 의해서 수동으로 이루어진다.

(1) 요구모드

차량의 운행량이 최대가 아닐 때 주로 요구모드가 선택 되며 또한 다음과 같은 경우에도 요구모드로 운전한다.

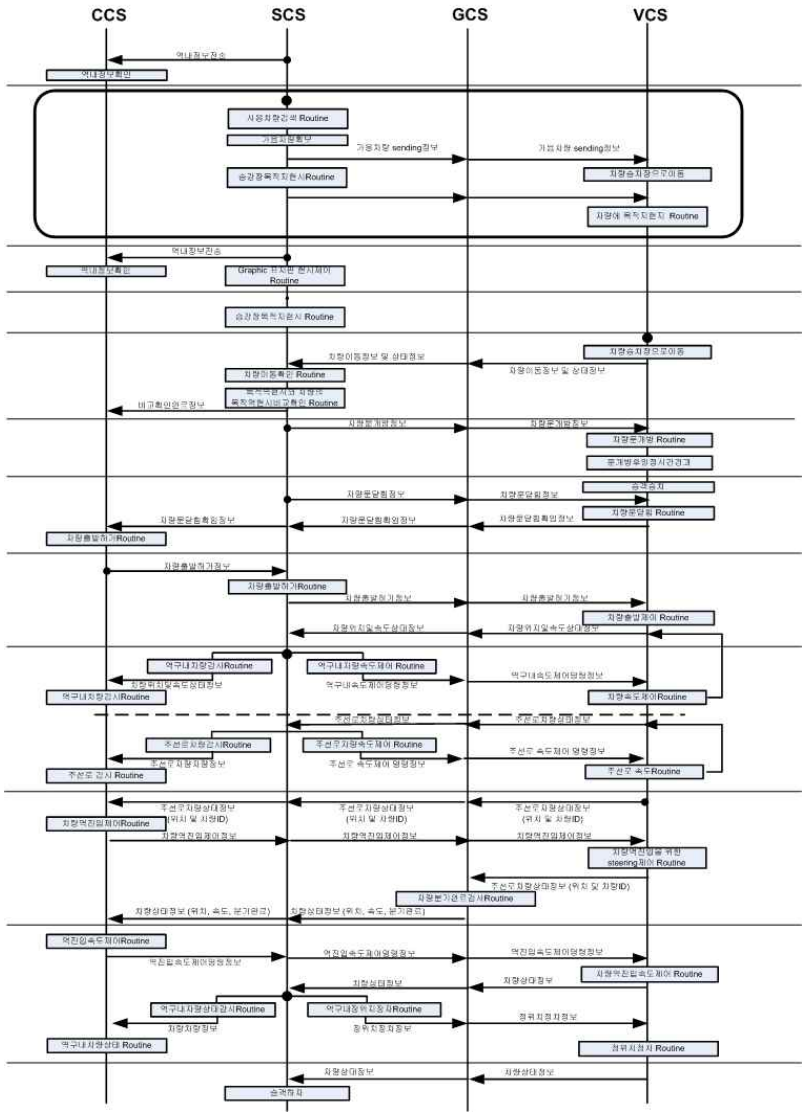
- ◆ 겨울철 전력손실을 방지하기 위해서 flexible operation을 할 필요가 있을 때
- ◆ 특별한 요구운전 모드가 발생했을 때
- ◆ 시스템의 일부분이 폐쇄되는 비정상 운전 상태에서 시스템의 성능을 최대로 할 필요가 있을 때



<그림 3.1.28> 정상 상태에서 요구모드 운행 알고리즘

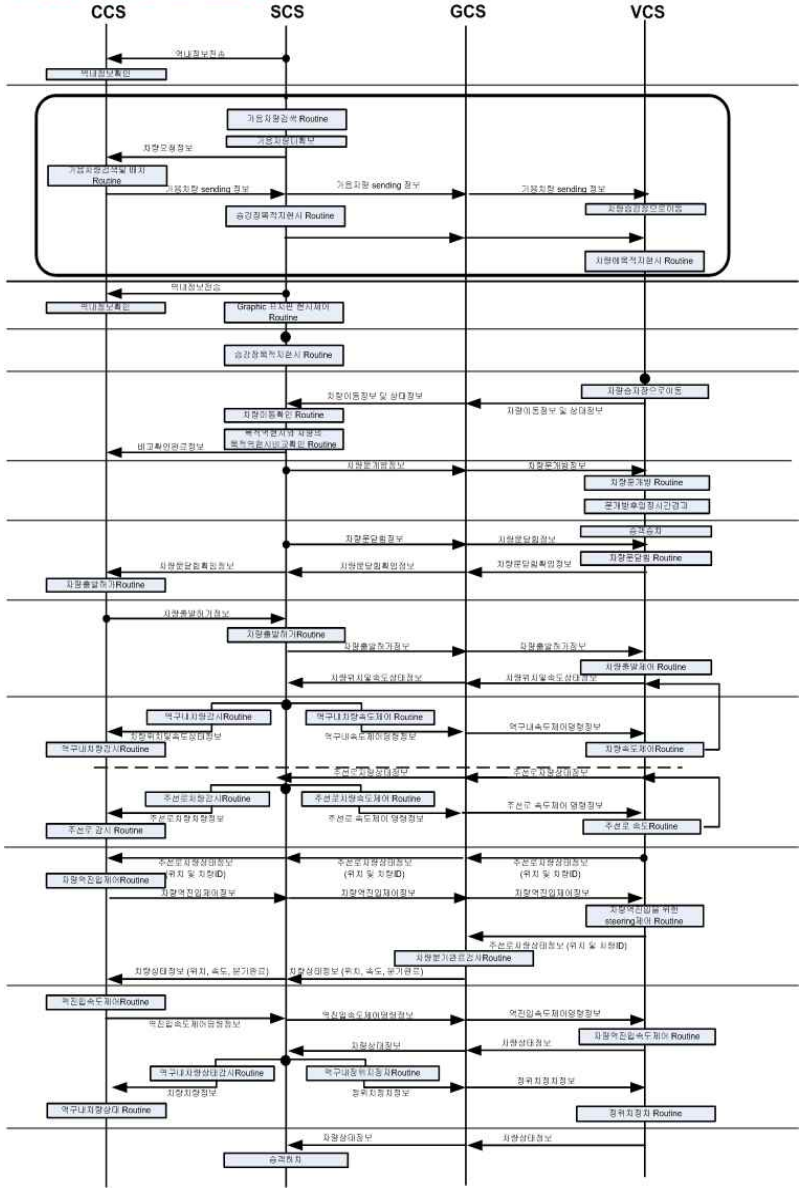
운전상태가 요구모드에 있을 때 승객은 출발역에서 도착역을 직접 선택할 수 있으며 시스템은 승객의 요구에 응해서 차량을 배차한다. 차량은 목적지까지 무정차(non-stop)로 승객을 수송한다. 따라서 요구모드는 선택적인 차량 분배 알고리즘에 의해서 효과적으로 네트워크 운행을 관리 할 수 있으며, 승객은 배차 차량을 기다리는 시간의 단축으로 최대의 서비스를 제공 받을 수 있다. 요구모드에서 차량의 배차는 두개의 인자를 고려해서 정해진다. 하나는 차량을 기다리는 승객의 숫자이고 다른 하나는 최대로 오래 기다린 대기 시간이다. 이들 두 가지 인자는 승객들이 시스템에 요구하는 요구수준, 날씨 등을 고려해서 운영자에 의해서 정해진다. 이들 두 가지 인자의 적절한 선택에 의해서 목적지가 같은 승객 그룹은 즉시 서비스를 받을 수 있으며, 목작지가 같은 승객이 없는 경우라도 최대 대기시간의 설정으로 훌륭한 서비스를 받을 수 있다. 그림 3.1.28은 요구모드의 로직(Logic)에 따른 개략적인 순서도를 보여주고, 그림 3.1.29, 3.1.30은 정상상태에서의 요구모드에 대한 시나리오를 보여준다. 요구 모드에서 효율적인 차량 배차관리를 위해서 각각의 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)에서는 차량의 재분배 알고리즘을 운영한다. 요구모드 1, 2는 역에서 승개의 요구에 대응하기 위한 차량이 확보된 경우와 그렇지 못한 경우를 나타낸다.

전체운영 시나리오 : 요구모드(1)



<그림 3.1.29> 요구모드(1) 에 대한 운행 시나리오

전체운영 시나리오 : 요구모드(2)



<그림 3.1.30> 요구모드(2) 에 대한 운행 시나리오

(가) 차량 재분배 알고리즘

시스템의 운행 모드가 요구 모드일 경우 운행 중인 차량(도착예정 등..)으로 승객의 요구를 수용하지 못 하거나, 항상 역에서 확보 하고 있어야하는 차량의 재고가 최소 확보 수준 이하일 때 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)은 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)에 차량 재분배를 요구한다. 이와 같은 최소 수준의 차량 재고 확보는 승객의 요구 빈도가 낮은 기간 동안 승객에 대한 차량의 가용성을 확보한다. 재분배에 대한 구체적인 요구는 다음의 두 가지 경우에 의해서 발생한다.

① 승객에 의해서 활성화된 재분배 요구

승객이 목적지를 선택했을 때 가용 차량이 없으면 차량 재분배 요구가 발생하며 다음의 처리 절차를 거친다.

a. 가능한 가용 차량을 찾기 위해 운행 중인 차량이나 이미 배차 할당 된 차량을 검사 한다.
b. 이들 차량들 중에서 가용 차량을 찾지 못하면 가용 차량을 요구한다.
c. 차량 재분배 알고리즘은 요구 모드 운행 중 대기 승객에 의해서 활성화되기 때문에 대기 승객이 대기하고 있는 승차장으로 우선적으로 배차된다.

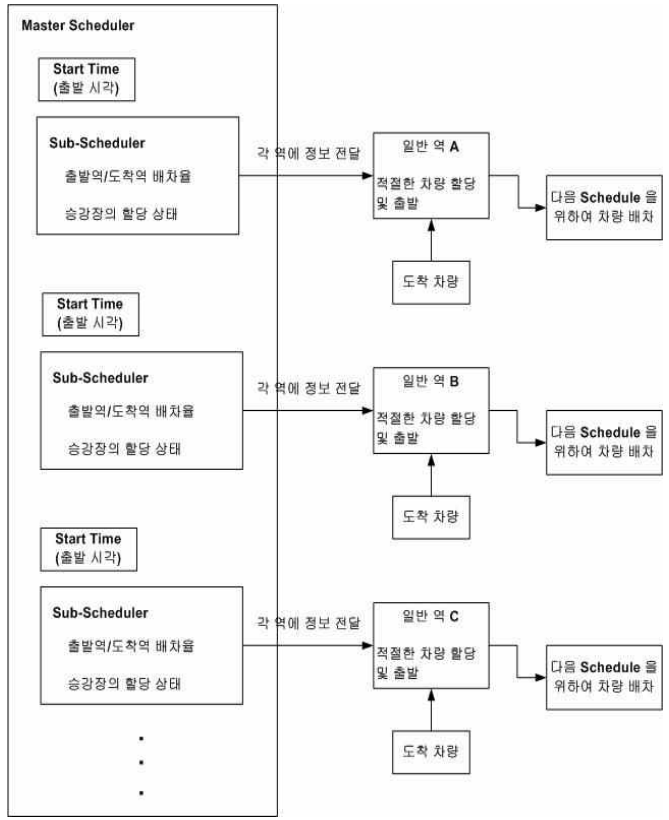
② 최소 수준의 차량 재고 확보 요구

최소 수준의 차량재고를 확보하기 위한 이유는 승객의 원활하고 효율적인 수송을 위함이다. 최소 수준의 차량재고 확보 요구는 역에 대기하고 있는 차량 수가 1대 미만일 때 가용 차량을 요구 하고 이는 승객의 요구 빈도가 낮은 기간 동안 가용차량 확보에 대한 보장성을 제공한다.

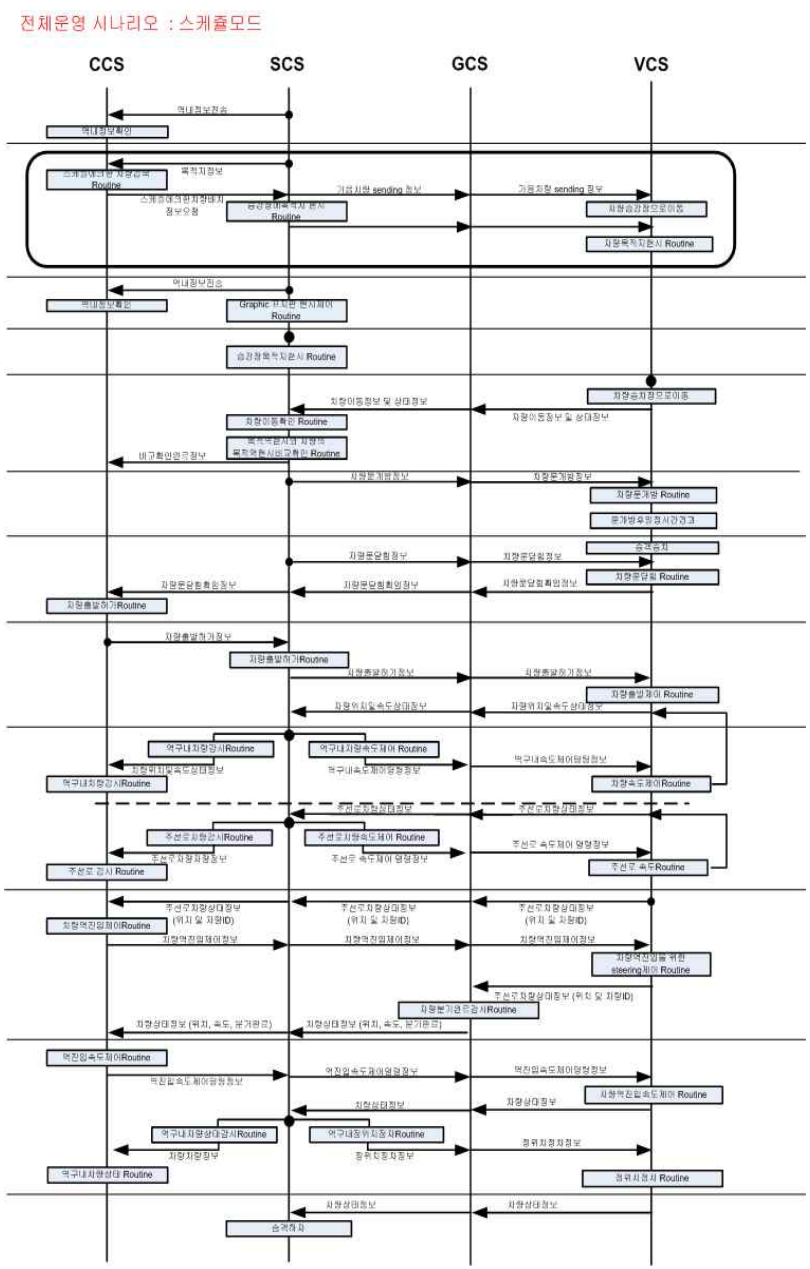
(2) 스케쥴 모드

스케쥴 모드는 출 퇴근 시간과 같이 승객의 이동량이 최대 피크인 시간대에 사용되며, 승객의 이동 량을 미리 예측하고 그것에 기초해서 출발역과 목적지의 Path를 하나의 pair 로 미리 결정한 스케쥴에 의해서 승객을 무정차(Non-stop)로 수송한다. 따라서 스케쥴 모드 시에는 요구 모드와 달리 승객이 목적 역으로 가는 차량을 기다린 후 승차해야 한다. 그림 3.1.31에 보이는 것처럼 스케쥴 모드는 주 스케쥴러(Master Scheduler)와 부 스케쥴러(Sub Scheduler)로 구성되고 다시 주 스케쥴러는 스케쥴 모드로 운행되고 있는 동안 특정간격에 따라 차량을 각 역에서 운행 시키는 부 스케쥴러들로 구성된다. 따라서 부 스케쥴러는 하나의 쌍으로 구성되는 출발역과 도착지에 대한 배차율과 승강장

(Platform)의 할당 상태에 의존하게 된다. 부 스케쥴러에 의해서 생성된 스케쥴은 각 역에 전달되고 역에서는 원하는 차량의 할당과 배차를 행한다. 스케쥴 모드에서 중요하게 고려되어져야 하는 사항은 각 스케쥴이 각각의 역에서 해당 스케쥴에 대응하기 위한 차량의 숫자가 부족하거나 과하지 않도록 균형을 잡는 것이다. 그림 3.1.31 및 3.1.32는 스케쥴 모드의 로직(Logic)에 따른 개략적인 순서도와 정보 흐름을 보여준다.



<그림 3.1.31> 스케쥴 모드의 개략적인 순서도

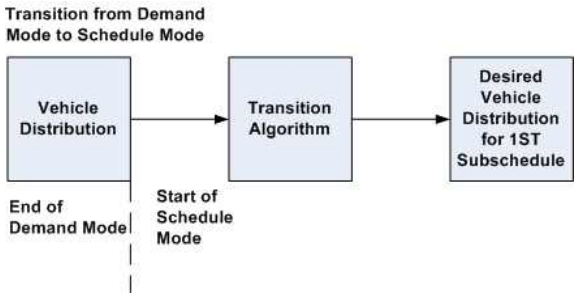


<그림 3.1.32> 스케쥴 모드에 대한 운행 시나리오

(3) 운행모드의 전환을 위한 알고리즘

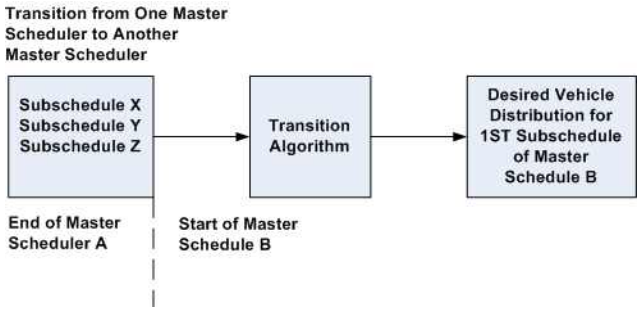
운전 모드의 전환은 스케쥴 모드와 요구 모드 사이에서 운전모드의 변환을 위해서 발생할 수 있으며 또한 스케쥴 모드의 주 스케쥴러간의 전환을 위해서도 발생 할 수 있다. 운전 모드의 전환이 발생했을 때 전환 알고리즘(Transition Algorithm)은 차량의 재분배를 다음의 알고리즘에 의해서 행한다.

a. 요구 모드에서 스케쥴 모드로, 또는 같은 스케쥴 모드에서 주 스케쥴러 A에서 주 스케쥴러 B 로 운행제어가 전환 되었을 경우, 역 제어 시스템(SCS: Station Control System)은 필요한 경우라고 인지되었을 때 첫 번째 부 스케쥴러를 위해서 역 차량 최소 재고 요구 조건을 만족 하도록 중앙 제어 시스템(CCS: Central Control System)에 차량 재분배를 요구한다.



<그림 3.1.33> 운행 알고리즘 전환 방식

(요구모드 ⇒ 스케쥴모드)



<그림 3.1.34> 운행 알고리즘 전환 방식

(주 스케쥴러 A ⇒ 주 스케쥴러 B)

b. 해당 역에서 차량의 초과와 부족에 대한 계산은 다음의 논리를 따른다.

i). 역 재고 차량 수 = 역 내의 차량 수 + 운행 중인 차량 (역의 제어권 내에서 운행 중인 차량)

ii). 역 내의 초과/부족 차량 수 = 역이 확보 하고 있는 재고 차량 수 - 승객에 의한 요구 차량 수

c. 초과분의 차량을 확보하고 있는 해당 역에서는 초과분을 차량 부족을 나타내는 가장 가까운 역에 할당하거나 차량 관리소에 보낸다.

d. 차량 관리소에서는 차량 부족을 나타내는 가장 가까운 역에 차량을 할당한다.

나. 비정상상태

시스템의 운전 상태가 완전한 자동, 즉 정상 운행이 아닌 상태를 말한다. 대개 고장 또는 비정상적인 조건일 경우이다. 이 상태에는 감소운행 모드(reduced service mode), 원격운행 모드(remote mode) 및 수동운행 모드(manual mode)가 있다.

시스템에 어떤 비정상적인 상태가 발생하여 정상 상태로 운행되지 못할 경우 시스템은 자동적으로 비정상 상태로 전환된다. 운전자가 이 상태를 선택할 수도 있다. 만약 그 비정상의 원인이 위급한 조건이라면 시스템은 그에 대하여 적절하게 전체적 또는 부분적으로 자동 정지한다. 원인이 처리된 후에 시스템은 정상 상태로 복귀한다. 감지된 문제의 위험도에 따라 시스템은 문제 해결 시까지 적절한 비정상 모드(감소, 원격, 수동)로 운행된다. 시스템의 재시작은 문제가 적절하게 조치된 후에 취해진다.

(1) 감소운행 모드(reduced service mode)

감소운행 모드에서는 스케쥴모드에서의 차량운행 횟수 또는 요구모드에서 차량운행 횟수를 감축한 상태에서 비정상 상태로 계속 차량을 운행 할 수 있다. 감축 운행의 대표적인 예는 배차 간격이 길어지며 하나 또는 둘 이상의 역에서 차량의 정차를 허용하지 않게 되는 것이다. 어떤 차량에 고장이 발생하고 시스템이 감축 운행 하는 경우 그 차량은 다음 역으로 보내져서(가능한 경우) 승객을 하차시킨 다음 (1)정비사가 와서 검사하도록 대기하거나 (2)원격제어로 정비작업장으로 보내진다. 이 두 가지 중 한 가지를 중앙제어실의 운영자가 선택한다.

(2) 원격운행 모드(remote mode)

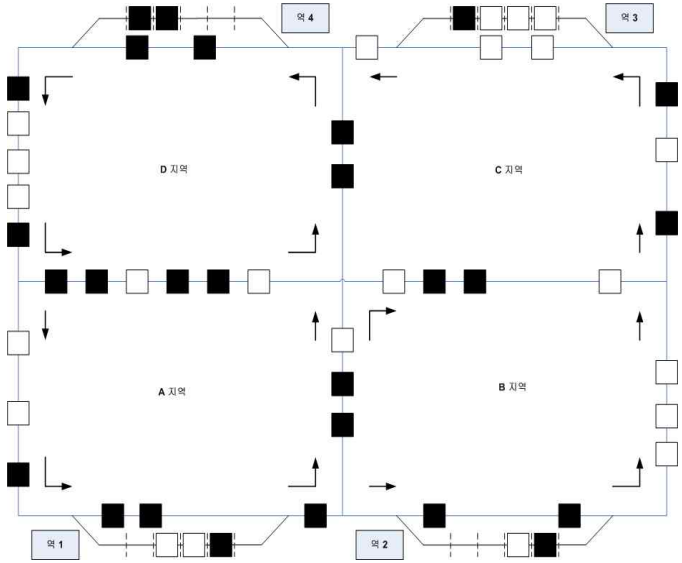
중앙제어실에서 차량을 원격 제어할 수 있도록 하는 운전 방식으로 차량에 고장이 발생했을 경우 고장차량을 정비 작업장으로 보낼 필요가 있을 때 선택되어진다.

(3) 수동운행 모드(manual mode)

운전자가 차량에 타승해서 차량을 운전할 수 있도록 해주는 모드로서 차량에는 수동운전이 가능한 장치 및 설비가 갖추어져있어야 한다. 어떤 차량의 운전을 수동 모드로 선택하면 해당 주 선로 구간 내에 있는 다른 차량들은 정상 운전 모드에서 벗어나게 되며 시스템의 운영자가 해당 주 선로 구간의 운행 상태/모드를 결정한다.

4. 차량관리 알고리즘

그림 3.1.35는 네트워크 구조의 PRT 운행 노선 및 운행노선 상의 운행 중인 차량을 보여 준다. 그림에서 보이는 것처럼 승객을 수송중인 차량과 승객을 수송하지 않는 차량은 노선 상에서 혼재되어 운행되고 있으며 이러한 혼잡한 차량의 운행은 적절한 방법으로 관리 통제되지 않으면 안 된다. 이들 차량들을 적절하게 관리 통제하기 위한 기본적인 구성은 차량의 현재위치 및 현재 상태 정보를 끊김 없이 해당 제어권 지역을 통제하는 컴퓨터에 전송할 수 있는 통신 시스템이 확보되어야 한다.



<그림 3.1.35> PRT 운행노선 및 노선상의 차량

(■ 승객 탑승차량, □ 빈 차량)

그림에는 4개의 역(역1, 역2, 역3, 역4)이 보여 지고 있으며, 노선 상을 운행 중인 차량들 중에서 ■ 표시는 승객을 수송중인 차량 □표시는 승객을 수송하지 않는 차량을 나타낸다. 각 역은 승객을 수송하지 않는 차량이 승객을 기다리기 위한 일정 수의 차량용 정차장를 확보하고 있다. 또한 각 역은 각 역이 관할하는 제어권 지역(A지역, B지역, C지역, D지역)을 확보하고 있으며 이 지역에 있는 차량들의 상태 정보 및 제어 정보를 통제한다.

각 역은 차량의 출발, 도착, 정차장관리, 해당관할 지역을 운행 중인 차량들 (승객을 수송중인 차량과 승객을 수송하지 않는 차량)에 대한 상태 및 제어정보 수집 및 제어명령 하달, 중앙제어장치로의 정보전송 및 제어정보 수신 등의 일을 처리한다. 이 중 차량의 출발, 도착, 해당관할지역내의 차량관리는 매우 중요한 일로서 PRT의 기본 개념인 출발지에서 목적지까지 무정차운행, 및 승객의 차량대기시간의 최소화를 달성하는데 없어서는 안 될 중요한 역할을 담당한다.

원활한 차량 관리를 위한 승차장의 기본 알고리즘은 다음과 같다.

① 각 역의 차량 정차장은 빈 정차장이 없이 승객을 대기하고 있는 차량들로 채워져야 한다.

② 빈 정차장이 없는 역에 승객을 태운 차량이 진입하려고 할 때 승객을 태우지 않은 차량은 승객을 태운 차량의 정차를 위해서 승객 없이 곧바로 출발해야 한다.

③ 승객을 태우지 않은 차량은 해당 제어 권 지역을 관할하는 역 제어 컴퓨터와 주기적인 통신을 통해서 해당 역에 빈 정차장이 있는지 확인하고 빈 정차장이 있으면 정차장에 진입 가능한지 허가권을 획득해야한다.

④ 승객을 태우지 않은 차량이 해당 제어 권 지역에서 빈 정차장을 찾지 못하면 다음 제어 권 지역으로 이동해서 같은 작업을 반복한다.

⑤ 승객을 수송 중인 차량은 목적지 역이 관할하는 제어 권에 진압하면 해당 역이 목적지 역임을 해당 역 제어장치에 알리고 정차장 확보를 요구해야 한다.

⑥ 승객을 수송중인 차량이 해당 역이 목적지 임을 알리고 해당 역에 진입을 시도하려고 할 때 해당 역 제어 장치는 승객을 수송중인 차량에 대해서 우선적으로 정차장을 확보해 주어야 한다.

차량 관리를 위한 기본 알고리즘은 다음과 같다.

① 승객 탑승 차량 (■)

승객을 수송 중인 차량은 PRT시스템의 기본개념인 출발지에서 목적지까지 무정차 운행을 달성하기 위해서 진로 설정 및 목적지 역 진입 등에 있어서 가장 높은 우선권을 갖고 해당 지역을 관할하는 역 제어 장치와 주기적인 통신을 통해서 목적지 역의 진입 상태를 파악한다.

② 빈 차량 (□)

승객을 태우지 않은 차량은 역의 정차장에서 승객을 대기하고 있어야하며 빈 정차장이 없는 역에 승객을 태운 차량이 진입할 시에는 승객을 태우지 않은 상태로 역을 출발해서 승객을 태운 차량에 정차장을 확보해 주어야한다. 운행 노선 상에서는 승객을 태우고 목적지로 이동 중인 차량의 진로를 방해하지 않도록 교차로 등에서는 교차로 진입 권을 승객을 수송중인 차량에 양보해야하며 해당 지역을 관할하는 역 제어 장치와 주기적인 통신을 통해서 해당 역에 정차 가능한 빈 정차장이 있는지 검색하고 있으며 해당 역으로부터 역 진입 허가권을 확보해야 한다.

5. 역진출입 알고리즘

PRT 시스템에서 운행노선 상에 오프라인(Off-line)으로 위치해 있는 역에 차량이 효율적으로 진입하고 본선으로 진출하는 문제는 소형궤도 차량시스템의 기본 개념인 출발지에서 목적지까지의 무정차 운행을 보장하며 운용효율을 증대시키기 위한 최소 운전시격을 보장하는데 매우 중요한 역할을 수행한다. 지금까지 최적화된 PRT의 역 진입 및 진출에 대한 알고리즘은 보고된 바 없다.

차량의 역 진출입 알고리즘을 구현하기 위해서는 중앙제어 시스템, 역 제어 시스템, 차상용 컴퓨터, 지역제어 시스템 등을 필요로 한다. 중앙제어 시스템은 역 제어 시스템과 통신하면서 소형궤도 차량의 역 진입 및 진출 허가 요청을 하는 차량의 상태 정보를 분석하고, 역 제어 시스템에 역진입 및 진출 승인/불가 여부를 전송한다. 역 제어 시스템은 차량과 직접 통신을 하기 위해서 지역제어 시스템을 경유한다. 역 진입 및 진출에 대한 허가 요구 신호는 차상 컴퓨터에서 발생하고 이 신호는 지역 제어시스템을 경유해서 역 제어 시스템에 전달된다. 효율적인 역 진입 및 본선으로의 진출을 위해서 역 진입 판단 가능 구역, 역 진입 요구인식센서, 역 진입 완료인식센서, 역의 정차장 상태 분석, 역 진출 완료 인식 센서 등을 효과적으로 활용한다.

역 진입 및 진출 알고리즘을 구현하기 위해서는 중앙제어 시스템, 역 제어 시스템, 지역제어 시스템, 차상용 차량제어시스템, 이들을 연결하는 유무선 통신 시스템 등의 하드웨어를 필요로 한다. 역 진입 및 진출 알고리즘은 역 진입 판단 가능 구역, 역 진입 요구 인식센서, 역 진입 완료인식센서, 역의 정차장 상태 분석, 역 진출 완료 인식 센서 등을

활용하여 구성할 수 있다.

역 진입 및 진출 통제 알고리즘에 대해서 고려할 사항은 다음과 같다.

역 진입 허용 판단은 해당 차량이 역 진입 요구 인식 센서를 통과하면서 차상용 컴퓨터가 역 진입 판간 가능 영역에 진입했음을 인식하고 지역제어 시스템을 통해서 역 제어 시스템에 역 진입 요구 신호를 보낸다. 역 제어 시스템은 중앙제어 시스템과 통신하면서 역의 정차대 상태, 차량의 상태정보 등을 분석해서 차량의 역 진입 허가 여부를 판단한다.

① 차량의 상태 : 해당 역이 해당 차량의 목적지인 경우(승객 탑승 중)

해당 차량의 목적지가 해당 역인 경우 중앙제어 시스템은 역의 정차대 상태를 분석한다. 정차대가 비어 있으면 해당 차량에 역 진입을 허가 하지만 정차대가 비어 있지 않으면 정차대의 가장 앞에 정차 중인 차량(승객을 대기하고 있는 차량)을 출발시키고 정차장을 확보하면서 해당차량에 역 진입 허가 명령을 역 제어 시스템에 전달한다. 목적지가 해당 역인 경우 기본적으로 출발역에서 중앙제어 시스템이 차량을 출발시키기 전에 목적역의 정차대 상태를 분석한 후 차량을 출발시키기 때문에 목적역의 정차대가 다른 차량들에 의해서 모두 점유되어 있는 경우는 비상사태를 제외 하고는 발생하지 않는다.

역 진입 허가 명령을 지역제어 시스템을 경유해서 역 제어 시스템으로부터 전송 받은 해당 차량은 역 진입 후 역 진입 완료 인식 센서를 통과하면서 지역제어 시스템을 통해서 역 제어 시스템에 해당 차량의 역 진입 완료 신호를 전송한다.

② 차량의 상태 : 해당 역이 해당 차량의 목적지가 아닌 경우(승객 탑승 중)

승객이 탑승 중이 차량이 해당 역이 목적역이 아니지만 해당 역 진입을 요구 할 수 있다. 이런 경우는 비상사태로 간주하고 즉시 해당 차량에 역 진입 허가 명령을 부여하고 정차대가 비어 있지 않은 경우는 다른 임의의 차량을 출발시키고 해당역의 정차대을 확보한다.

③ 차량의 상태 : 승객을 수송중이지 않은 차량

승객을 수송중이지 않는 차량이 해당 역에 진입하려고 할 경우 진입 허가 여부는 다음의 기준에 의한다.

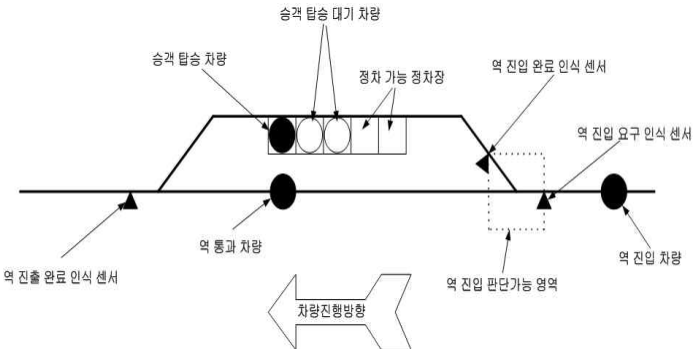
- 해당역의 정차대가 최소한 2개 이상 비어 있어야 진입 허가.
- 승객을 수송중이지 않는 해당 차량의 후미 차량이 해당 역을 목적지로 하지 않는 경우 진입 허가.

- 해당 역에서 승객을 수송하기 위한 차량이 정차하고 있지 않아서 중앙제어 시스템에 의해서 급송 요구된 차량의 경우 진입 허가.
- 급송 요구된 차량은 아니지만 해당역의 정차대가 비교적 많이 비어 있어서 차량 관리 측면에서 해당 역에 승객을 수송중이지 않는 차량을 정차시킬 필요가 있을 때 진입 허가.

2) 역 진출 허용 가능 판단

역에서 본선으로 진출하는 차량은 승객을 수송 중인 차량과 승객을 수송 중이지 않은 차량에 대해서 구분 없이 다음의 알고리즘을 따른다.

- 역을 통과 하는 차량의 위치와 속도 정보 분석
- 역을 통과하는 차량이 현재의 위치와 현재의 속도로 역 진출 완료 인식 센서에 도달하는데 걸리는 시간 계산
- 역에서 출발을 대기하고 있는 차량이 역에서 출발해서 역 진출 완료 인식 센서에 도달하는데 걸리는 시간 계산
- 두 차량의 역 진출 완료 인식 센서까지 도달하는데 걸리는 계산된 시간 비교
- 역 통과 차량이 역 진출 완료 인식 센서에 도달하는데 걸리는 시간이 짧으면 역에서 출발하려는 차량은 역 통과 차량이 역 진출 완료 인식 센서를 통과 할 때까지 대기한 후 출발
- 역 대기 차량이 역 진출 완료 인식 센서에 도달하는데 걸리는 시간이 짧으면 대기 없이 바로 출발



<그림 3.1.36> 역 진출입 개념도

제2절 네트워크 운행제어 알고리즘 설계

1. 최적경로 탐색 알고리즘의 기본개념

가. 최적경로 탐색의 정의 및 기본 원리

PRT 네트워크 운행제어에 있어서 최적경로 탐색 알고리즘(Optimal Path-finding Algorithm)은 통행배정을 결정하는 여러 하부 프로그램 중 핵심을 이루는 부분으로, 수집된 각종 PRT 운행정보를 바탕으로 출발지와 도착지 사이의 실현가능한 가장 경제적인 최선의 경로를 탐색하는 과정이다.

PRT 시스템의 운영에 있어서 정적 통행배정문제뿐만 아니라 확률적 통행배정문제로부터 동적 통행배정문제나 수송문제 등 정확한 경로의 탐색은 네트워크운행 계획단계에 있어서 매우 중요한 절차로서, 일반 교통 분야에서 이용되는 전통적인 최단경로 탐색 알고리즘은 주로 산업공학에서 개발된 수형망(Tree Building) 알고리즘에 그 기초를 두고 개발되었으며, 통신 네트워크분야 등에서 이용되고 있다.

네트워크(network)의 가장 간단한 정의는 점들의 집합과 이 점들을 연결하는 선분의 집합인 그래프(graph)로 표현할 수 있으며, 수학적으로 노드(nodes, vertices 또는 points)의 집합과 노드 쌍의 관계를 나타내는 링크(links, arcs 또는 edges)의 집합으로 이루어진다. PRT 네트워크에 있어서 분기부, 병합부, 승강장이 노드로 표현되며, 궤도는 링크로 표현된다. PRT 네트워크는 링크가 연결하는 두 노드가 서로 다르고, 같은 쌍의 노드는 하나의 링크에 의해 연결되는 단순 그래프이다. 즉, PRT 네트워크에서 분기점, 병합점, 승강장을 통과한 차량은 다른 분기점, 병합점, 승강장을 향하며, 인접한 분기점, 병합점, 승강장간에 이동할 수 있는 궤도는 하나만 존재하므로 단순 그래프로 고려하여 분석한다.

PRT 네트워크는 궤도는 특수한 경우 양방향을 고려할 수 있으나, 보편적으로 고려되는 PRT 네트워크의 노선은 단방향이며, PRT 차량이 노드간을 통행하기 위해서는 통행거리, 통행시간의 통행비용이 고려되어야 한다. 따라서, PRT 네트워크의 수학적 표현으로 방향 가중 그래프(directed weighted graph)로 고려한다.

일반적으로 최적경로문제는 선형 프로그램으로 구성되며, 그 구체적 형태와 유일해의 존재여부는 Bellman(1957)에 의해 증명되었다. Bellman은 노드비용의 초기조건과 각 노드비용의 결정원칙을 최소화 함수로 구성하였는데, 각 노드비용을 결정하는 최소화 함수

의 입력은 이전 노드까지의 비용의 합과 현재 고려하여야 하는 링크비용의 합으로 구성되며 그 형태는 선형(linear)이다. 일반적인 최적경로탐색 알고리즘에서는 각 노드비용을 순차적으로 계산하거나 계산단계에서 필요에 따라 노드의 최소비용을 수정함으로써 기종점간의 최소통행비용을 결정하며, 각 노드의 이전 노트(predecessor node 또는 back node)를 저장하여 기종점간의 최적 경로를 결정한다. 여기에서 노드비용은 최적화의 대상이 되는 항목으로 일반적으로 통행거리 또는 통행시간에 대하여 고려된다. 본 과제를 통해 고려되는 PRT 네트워크 운행제어에 있어서 노드비용을 구성하는 링크비용은 통행거리 및 통행시간을 최적화 대상으로 한다.

최적경로 탐색 알고리즘의 근간이 되는 Bellman의 정리는 다음과 같다.

[Bellman의 정리] 노드 에서 노드 j까지 양의 값인 링크비용 $c(i,j)$를 갖는 네트워크 [,A]의 기점 h에서 노드 j까지의 최적경로통행비용 $c(j)$는 다음 함수방정식의 유일해이다.

$$(h)=0 \tag{3.2.1}$$

$$c(j)=\min_{j\neq h}[c^*(i)+c(i,j)] \tag{3.2.2}$$

여기에서, N은 네트워크의 노드 집합을 의미하며, A는 네트워크의 링크 집합을 의미한다.

위의 식 (3.2.2)를 부등식으로 다시 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$c^*(j)\le c^*(i)+c(i,j) \quad \text{for } all\ (i,j) \tag{3.2.3}$$

위의 부등식은 네트워크의 링크 (i,j)에 대하여 기점에서 노드 j에 도착하는 최단경로 비용은 노드 i까지의 비용과 링크 (i,j)의 비용을 합한 값보다 크지 않아야 한다는 것을 의미한다. 만약 위의 부등식 조건을 만족하지 않는 경우, 통행비용을 더욱 줄일 수 있는 경로가 존재하게 된다.

앞서 살펴 본 Bellman의 원리를 바탕으로 최적경로를 탐색하는 데 어떻게 이용되는가는 각 알고리즘마다 차이가 있다. 각 노드별로 도착하는데 필요한 최소통행비용을 계속 수정하는 방법(Label Correcting Algorithm)도 있고, 한 노드에 대한 값을 완전히 고정시킨 뒤 다음 노드의 최소통행비용을 계산하는 방법(Label Setting Algorithm)도 있다. 노드비용에 기반한 최적경로 탐색 알고리즘의 가장 기본적인 전제는 특정 노드까지의 최소

통행비용에 최소의 링크비용을 더한 값이 해당 링크종점노드까지의 최소통행비용이라는 것이다. 실제 구현에 있어서 식 (3.2.2)가 나타내는 원칙보다는 각 노드의 최소통행비용을 얼마나 신속·정확하고 효율적으로 계산할 수 있는가가 최적경로 탐색 알고리즘의 성능을 결정한다고 볼 수 있다.

나. 최적경로 탐색 알고리즘의 분류

최적경로의 탐색방법이란 최적경로의 비용을 계산하는 데 기본이 되는 값, 즉 출발점에서 임의의 각 노드까지의 비용을 어떻게 결정하는가를 의미한다. 현재까지는 일반 교통분야에서는 각 노드별로 최적경로를 결정하고 그 비용을 통해 종점까지 경로를 결정해 가는 분할탐색(Partial Searching) 또는 순차적 탐색법(Sequential Searching)을 이용해 왔으며, 편의상 이러한 탐색법을 분할탐색법이라 정의한다.

분할탐색법의 특징은 한번 최적경로를 통해 노드도착비용이 고정되면 그 비용은 최적비용으로 고정되고, 기점으로부터의 경로 대신 이전 노드만을 순차적으로 저장해 경로를 결정한다. 따라서 각 노드에서의 최적경로탐색과정이 독립된 단계라고 한다면, 독립된 단계별 최적해를 저장하고 이를 산술적으로 조합해 전체 경로의 최적경로를 결정한다. 즉, 분할탐색법은 통과노드를 중심으로 단계별 최적경로를 선정하여 이를 산술적으로 결합하면 최종 최적경로가 된다고 가정하는 것이다.

PRT 네트워크와 같은 동적 최적경로탐색이 필요한 분야에 있어서는 일정한 시간간격별로 종점까지의 최적경로를 계산하여 이를 합산하는 경우에는 한정된 정보를 바탕으로 계산되므로 국지적 최단경로의 산술적 합이 전역적인 최단경로(Global Shortest Path)가 될 수 없다.

이와 같은 탐색영역문제를 해결할 수 있는 방법으로는 전역탐색법이 있다. 전역탐색법은 각 노드별 비용을 계산해 단계별로 최적경로를 계산하는 것이 아니라 전체 기·종점간의 경로비용을 비교해 최적경로를 탐색한다. 따라서 전역탐색법은 전역적 최적화기법을 이용해 경로를 결정하며, 순차적인 구축단계 없이 복수의 경로를 단계마다 발생시키고 이를 비교해 경로를 갱신한다.

(1) 분할탐색법

분할탐색법은 현재까지 개발된 대부분의 최단경로탐색 알고리즘이 채택하고 있는 탐색법으로 최적해를 구하기 위해 고려되는 입력에 따라 크게 노드기반과 링크기반으로 나뉠 수 있다.

(가) 노드기반 최적경로 탐색 알고리즘

노드기반 알고리즘은 순환의 고려 여부에 따라 수형망 알고리즘과 덩굴망 알고리즘으로 분류되며, 알고리즘상의 특징으로는 수형망 알고리즘은 최적도착비용을 결정하기 위하여 직전의 노드만 고려하나, 덩굴망 알고리즘은 최적도착비용을 결정하기 위하여 직전의 노드 뿐만 아니라 전 링크 및 두 단계 전의 노드(Pre-predecessor Node)까지를 고려하므로 제한된 범위내에서 순환문제를 해결할 수 있다.

① 수형망 알고리즘(Tree-based Algorithm)

수형망이란 한 경로에서 순환(cycle) 없이 모든 노드가 다른 모든 노드와 서로 연결된 그래프를 뜻하며, 대표적인 수형망 알고리즘의 예로는 Dijkstra 알고리즘이 해당된다. 수형망 알고리즘은 노드와 연결링크 간의 관계를 이용해 경로를 구축하기 때문에 경로구축시 고려되는 범위가 좁다는 점에서 단순교통망에서는 효율적이나, 경로구축과정에서 이전 노드만을 기억하는 관계로 순환과 같은 문제를 해결할 수 없는 단점이 있다.

노드기반 최적경로 탐색 알고리즘의 일반적인 탐색절차를 살펴보면 다음과 같다. 네트워크가 노드 $i,j,k,\cdots$와 링크 $(i,j),\cdots$ 그리고 링크 (i,j)의 비용 $c(i,j)$로 구성되어 있다고 가정한다. 그리고 기점노드를 h, 기점에서 노드 j 까지의 최단경로비용을 $c(j)$라 하고, 탐색되어 표지된 노드집합(Labelled Node Set)을 R, 표지되지 않은 노드집합(Unlabelled Node Set)을 $\overline{R}$이라고 하면, 최단경로 알고리즘은 다음과 같다.

[단계1] 초기화

$,c(h))=(0,0)$

여기서 P_j는 노드 j의 전 노드

$c(j)=\infty$ ($j\neq h$)

$R=\{h\}$

[단계2] 최적경로 탐색

$$c^*(j)=\min_{x\in R}[c^*(x)+\min_{y\in R}(c(x,y))]=c^*+c(i,j)$$

여기에서 $i\in R$, $j\in\overline{R}$

$P_j=i$

[단계3] 노드 를 (,$c^*(j)$)로 표지한 후 R에 노드 j를 추가하고 R에서는 삭제

[단계4] 만약 $\overline{R}=\Phi$이면 중지, 그렇지 않으면 [단계2]로 진행

위의 절차를 통하여 목적지까지 도달하게 되면, 전 노드 P_j를 따라 기점까지 추적하여 최적경로와 최적경로비용을 구하게 된다.

■ 표지 알고리즘(Labeling Algorithm)

수형망 알고리즘의 대표적인 알고리즘이며, 각 노드마다 표지(label)를 설정하여, 경로상의 링크로 연결된 전 노드(Predecessor Node)의 번호와 비용을 탐색하여 최적경로를 찾아내는 방법이다. 표지는 현재까지의 표지값이 실제 최적비용 경로의 상한치(Upperbound)로서 더 작은 값으로 갱신이 가능한 임시표지(Temporary Label)와 더 작은 값으로 줄일 수 없는 경우 해당노드의 표지값이 최적경로의 비용임을 나타내는 영구표지(Permanent Label)로 정의된다. 표지 최적경로 비용인 영구표지를 결정하는 방식에 따라 '표지 수정 알고리즘(Label Correcting Algorithm)'과 '표지 확정 알고리즘(Label Setting Algorithm)'으로 구분된다.

■ 표지 수정 알고리즘(Label Correcting Algorithm)

표지 수정 알고리즘은 반복과정이 되풀이되는 동안 방문하는 노드에 비용을 계산하여 임시표지를 한 다음 모든 노드에 대한 고려가 끝난 후에 영구표지로 확정하는 방법이다. 계속적인 수정되는 계산이 복잡하기는 하지만 라벨수정 알고리즘은 계산소요시간이 비교적 짧고 교통망이 대형화되더라도 계산시간이 선형적으로 증가한다는 특징을 가지고 있기 때문에 다양한 목적으로 사용되고 있다. 대표적인 알고리즘으로 Moore(1957), D'esopo(1978) 알고리즘이 이에 해당되며, 기본적으로 네트워크의 각 노드를 탐색하는 순서를 정하는 루스-엔드표(Loose-Ends Table)를 활용하여 계산된다.

■ 표지 확정 알고리즘(Label Setting Algorithm)

가장 흔히 이용되는 최단경로 알고리즘은 Dijkstra 알고리즘이다. Dijkstra 알고리즘이 Moore 알고리즘과 같은 표지 수정 알고리즘과의 가장 큰 차이는 루스-엔드 표에 기재된 노드가 다음 노드에 기입되는 순서이다. Dijkstra 알고리즘은 Moore 알고리즘과는 달리

기점에 가까운 순으로 다음 노드에 기입된다. 이는 표지 수정 알고리즘들과는 중요한 차이로서, 이러한 기법을 이용할 경우 한 번 탐색된 노드의 비용은 이후 다시 수정되지 않는다. 즉, 다음 노드에 기입된 노드는 이후 다시는 재검토되지 않는다. 이러한 탐색특성 때문에 이러한 최단경로탐색 알고리즘을 표지 확정 알고리즘이라 부른다.

Dijkstra 알고리즘의 가장 큰 장점은 기점으로부터 한 번에 각 노드들을 검색하는 기법이므로 프로그램 측면에서 단순하다는 것이다. 즉, 각 링크들은 결과적으로 한 번만 검토된다. 그러나 이는 경로가 복잡하게 구성되는 교통망에서는 단점이 되기도 하는데, 그 이유는 기점으로부터 가장 도착비용이 낮은 노드를 찾는 데 추가적인 비용이 소모되기 때문이다.

② 덩굴망 알고리즘(Vine-based Algorithm)

수형망 알고리즘에 비해 덩굴망 알고리즘은 최소도착비용을 결정해야 하는 노드의 전 노드와 전 링크, 전전노드(Pre-predecessor Node) 까지를 검색범위로 가지기 때문에 노드와 노드간의 관계뿐 아니라, 제한된 범위 내에서 링크와 링크 간의 연결관계도 고려할 수 있다.

덩굴망 알고리즘은 좌회전 금지와 같이 교통망상의 노드통과시 일정 비용을 지불해야 하는 회전벌점문제나, 최근 들어 통합교통망에서 다루는 교통수단간 환승비용을 고려해야 하는 경우 등에 사용할 수 있다. 덩굴망 알고리즘의 기본개념은 특정 노드에서의 회전벌점을 고려하기 위해 전 노드뿐만 아니라 전 노드의 전 노드까지 저장하는 방법으로 기본적인 최단경로탐색조건은 다음과 같다.

$$c(h) = 0 \tag{3.2.4}$$

$$c(r) = \min_{h \neq r}[c^*(i) + c(i,r) + P_{k-i-r}] \tag{3.2.5}$$

위 식에서 k는 i의 전 노드이며, P_{k-i-r}은 노드 k에서 노드 i를 통하여 노드 r에 도착하는 회전 벌점 또는 환승비용을 의미한다.

③ K-최단경로 알고리즘(K-Shortest Path Algorithm)

K-최단경로 알고리즘은 최단경로 이외의 K개의 경로들을 발생시켜 저장하는 알고리즘으로 합리적인 통행배정, 혼잡시 우회도로안내, 복수 속성을 갖는 최적경로탐색 등 여러 분야에서 그 유용성을 인정받고 있다. Yen의 K-최단경로 탐색 알고리즘과 경로중복(공유)문제를 어느 정도 해결하면서 효율적으로 K-최단경로를 찾을 수 있는 EVL(Efficient Vector Labeling) 기법 등이 있다.

■ Yen의 K-최단경로 알고리즘

K-최단경로 알고리즘은 여러 가지 형태로 구성이 가능하지만, 가장 간단한 알고리즘 형태는 Yen(1971)이 제시한 알고리즘이다. Yen은 기존의 노드기반 알고리즘을 일부 수정하여 다수의 경로들을 비용순서대로 발생시킬 수 있는 방법을 제시하였는데 다음과 같다.

○ 변수의 정의

- $i\}$, $i=1, 2, \cdots,$: 기점이 1이고 종점이 N인 노드집합
- $(1)-(i)-\cdots-(j)$, $i \neq j \neq \cdots \neq 1$: 1에서 j까지 노드 i를 통과하는 경로
- d_j, $i \neq j$: 노드 i와 노드 j를 연결하는 링크의 통행비용
- A^k, $k=1, 2, \cdots, K$: k번째 최단경로
- A_i^k, $i=1, 2, \cdots, Q_k$: A^{k-1}번째의 최단경로 중 노드 i에서 이탈(Deviations)되어 만들어진 k번째 최단경로(여기서 Q_k는 k번째 최단경로의 Q_k번째 노드). 즉 노드 1에서 노드 i까지는 A^{k-1}번째 최단경로와 동일하고, 그 이후부터는 기존 A^j, $j=1, 2, \cdots, k-1$과는 다른 경로로 구성된 최단경로
- R_i^k: A_i^k의 부경로로 1노드에서 i노드까지는 A^{k-1}번째 최단경로와 동일
- S_i^k: A_i^k의 부경로로 i노드에서 N노드까지의 경로
- $A_i^k = R_i^k + S_i^k$
- List A : k번째 최단경로 리스트
- List B : $k+1$번째 최단경로의 후보 리스트

○ K-최단경로 알고리즘

■ 반복 1 : A^1의 계산

효율적인 최단경로 알고리즘을 이용하여 첫 번째 최단경로를 찾고 이것을 List A에 저장

■ 반복 $k(k=2, 3, \cdots, K)$. A^k 계산

I. 각 $i=1, 2, \cdots, Q_{k-1}$에 대하여 다음 절차를 시행한다.

[단계 1]

① 만약 A^{k-1}의 노드 i까지의 경로=A^j의 노드 i까지의 경로이면, $d_{iq}=\infty$(여기서 q는 A^j의 $i+1$번째 노드), 그렇지 않으면 변화 없음

② 노드 1에서 노드 i까지의 부경로를 A_i^k의 R_i^k로 설정

[단계 2]

① 최단경로 알고리즘을 이용하여 노드 i에서 노드 N까지의 최단경로 결정

② 노드 i에서 노드 N까지 부경로를 A_i^k의 S_i^k로 설정. 여기서 부경로가 여러 개 나오는 경우 임의로 1개를 S_i^k로 설정함.

[단계 3]

① R_i^k와 S_i^k를 결합하여 A_i^k를 만들고 이것을 List B에 추가. 여기서 주의할 사항은 List B에는 $K-k+1$개의 A_i^k만 저장하면 된다.

II. ① List B에서 최소비용을 갖는 최단경로를 찾아 List A로 옮김.

② 만약 List A의 최단경로 수가 K를 넘으면 정지하고, 그렇지 않으면 $k=k+1$ 후 위 과정을 반복한다.

Yen 알고리즘의 기본개념은 일단 최단경로가 탐색되면 경로상에서 이 최단경로를 제외하고 가장 비용이 낮은 경로를 탐색하면서 두 번째, 세 번째 등 비용이 낮은 경로들

을 결정하는 방법이다. 즉, 최단경로 이 결정되면 두 번째로 비용이 낮은 경로 A^2는 A^1과 대부분의 경로를 공유하게 되기 때문에, 최단경로에 포함된 경로들 중 일부의 노드를 A^1에 속하지 않은 노드들로 대체하여 여러 개의 경로를 발생시켜 충분한 수가 발생되면 이들의 비용을 비교해서 $A^2, A^3,$ 등 K개의 최단경로를 구하는 방법이다.

Yen 알고리즘과는 달리 기존 최단경로 알고리즘을 일부 변형해서 통행비용순서대로 경로들을 저장하는 방법도 있다. 일반적인 알고리즘들이 최단경로 탐색 중에 최단경로가 아닌 경로들을 기억하지 않고 지우는데, 이를 모두 별도의 공간에 저장하는 방법이다. 물론 알고리즘의 형태에 따라 네트워크상의 모든 경로들을 탐색할 수는 없어 정확한 K-최단경로 알고리즘이라 말할 수는 없지만, 표지 수정 알고리즘과 같이 모든 노드들에 대한 경로들을 탐색해야 하는 알고리즘이라면 각 노드들에 대한 복수의 경로를 얻을 수 있다.

알고리즘 측면에서 K-최단경로 알고리즘은 동시에 여러 경로들을 발생시키는 알고리즘과 최단경로를 찾은 뒤 그 다음으로 비용이 낮은 경로들을 순차적으로 발생시키는 알고리즘으로 나눌 수 있다. 그러나, 실제 K-최단경로 알고리즘을 통하여 구해진 경로들은 대부분 직접적용이 어려운데, 이는 대부분의 K-최단경로 알고리즘의 경우 계산된 많은 경로들이 동일한 링크들을 공유하기 때문이다. 산출된 경로들의 유사성을 파악하기 위해 여러 방법들이 사용되는데, 가장 흔히 사용할 수 있는 방법은 두 경로의 전체 길이 중 어느 정도 비율이 공통되는가를 살펴보는 법이다. 단순히 두 경로의 공통 링크의 길이를 더하는 방법을 사용할 수도 있고, Cascetta, et al.(1996)이 제시한 공통성 인자(Commonality Factor. CF_k)를 이용해 좀 더 수치적인 분석을 시행할 수도 있다.

$$CF_k = \beta_0 \ln \left(\frac{L_{hk}}{L_h^{1/2} L_k^{1/2}} \right)^r \qquad h,k \quad P_{rs} \tag{3.2.6}$$

식 (3.2.6)에서 β_0는 상수값을 갖는 계수이고, P_{rs}는 rs를 연결하는 경로집합을 나타낸다. L은 각 경로의 길이이다. 따라서, L_{hk}는 경로 h,k의 공통된 경로의 길이이며, 와 L_k는 경로 h와 k의 길이를 나타낸다. r도 역시 양의 값을 갖는 계수이다.

따라서 이러한 중첩기준(Overlap Criteria)을 추가하면 일정 구간 이상의 중복이 일어나지 않는 경로집합을 얻을 수 있다. 그러나 이 방법은 각 개별 경로들간의 중복검토가 필요하므로 경로들이 많아지면 계산비용이 크게 증가하게 된다. 따라서 K-최단경로 알고리즘의 효과적인 이용을 위해서는 중첩을 피하면서 빠른 시간 내에 많은 경로들을 도출할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다.

■ Efficient Vector Labeling(EVL) 알고리즘

EVL 기법의 특징은 탐색된 k번째 최단경로의 통행시간이 첫 번째 최단경로통행시간의 일정한 범위 내에 존재하며, 탐색된 k개의 최단경로간의 중복(공유)길이도 특정한 범위 내에 있어야 한다는 점이다. 이를 위하여 k번째 최단경로의 통행시간제약과 중복경로길이제약이 모형에 추가된다. 또한 가능경로를 결정하기 위해서는 수많은 경로탐색이 필요한데, 이를 효과적으로 수행하기 위하여 탐색공간을 축소시켜 최단경로를 탐색하는 방법을 적용한다. EVL 기법에서는 수용할 만한 경로속성(Attribute : 예를 들어 통행시간)을 갖고 있고 이전에 결정된 경로와 유사하지 않다면(Dissimilar) 합리적인 대안경로로 선정한다.

○ 변수정의

- O : 기점 (Origin)
- D : 종점 (Destination)
- i,j : 노드번호(Index)
- k,r : 합리적인 대안경로의 번호(Index for Reasonable Alternative Path)
- M : 합리적인 대안경로의 최대허용 통행시간(최단경로에 대한 %로 표시)
- U : 합리적인 대안경로의 중복되지 않는 비율(최단경로와 다른 합리적인 대안경로와의 중복되지 않는 비율
- : 합리적인 대안경로의 최대허용시간(K-번째 경로가 가질 수 있는 최대허용시간 : Resource Constraint)
- β : 경로간의 최대허용 중복거리(Allowed Overlapped Length; Route Constraint)
- t_{ij} : 링크(i,j)의 통행시간 (Travel Time)
- d_{ij} : 링크(i,j)의 길이(Distance)
- $t_o(i)$: 기점 O부터 노드 i까지의 최단경로통행시간
- $t\ (i)$: 기점 i부터 종점 D까지의 최단경로통행시간
- $d_O(i)$: 기점 O부터 노드 i까지의 통행거리
- $\tau(i)$: 기점 O부터 노드 i까지의 부경로에 대한 번호(Index)
- $t_O^{\tau}(i)$: 기점 O부터 노드 i까지의 $\tau(i)$번째 부경로의 통행시간
- $\delta_k^{\tau}(i)$: 기점 O부터 노드 i까지의 $\tau(i)$번째 부경로가 이전에 결정된 k번째 최단경로와의 중복길이
- Φ_{ij}^k : 링크 (i,j)가 경로 k에 사용되었으면 1, 그렇지 않으면 0

▪ $I^{\tau(i)}=(t_O^{t(i)},\delta_1^{\tau(i)},\delta_2^{\tau(i)},\cdots,\delta_{k-1}^{\tau(i)})$: k번째 최단경로를 결정할 때, $\tau(i)$번째 부경로에 대한 벡터 라벨(Vector Label)

○ EVL 알고리즘

[단계1] 초기화

(1.1) 전통적인 라벨설정 최단경로 알고리즘을 이용하여 O-D간 최단경로 결정

(1.2) 최대허용 통행시간과 최대허용 중복길이 결정

$= t\ (\ )\times M$

$\beta = d_O(D)\times(1-U)$

여기서 과 U는 합리적인 대안경로의 최대허용 통행시간비율과 합리적인 대안경로의 중복되지 않는 비율이다.

[단계2] 탐색공간의 축소

만일 $t_O(i)+t\ (i)>\alpha$이면, 노드 i는 탐색공간에서 삭제

[단계3] 번째 최단경로 탐색

(3.1) $k=2$

(3.2) EVL 기법을 이용하여 k 번째 최단경로탐색

(3.2.1) $I^{\tau(i)}=(t_O^{\tau(i)},\delta_1^{\tau(i)},\delta_2^{\tau(i)},\cdots,\delta_{k-1}^{\tau(i)})$계산

(3.2.2) 만일 $t_O^{\tau(i)}+t_D(i)>\alpha$ 이면, 해당 부경로는 고려대상에서 제외

만일 $\max[\delta_1^{\tau(i)},\delta_2^{\tau(i)},\cdots,\delta_{k-1}^{\tau(i)}]>\beta$이면, 해당 부경로는 고려대상에서 제외

(3.2.3) 탐색된 부경로가 기존 부경로보다 우수하지 않으면 고려대상에서 제외

(3.3) k개의 합리적인 대안경로가 결정되었으면 정지, 그렇지 않으면 $k=k+1$ 후, (3.2)로 진행

(나) 링크기반 최적경로 탐색 알고리즘

일반 도로교통망에 있어서는 좌회전 금지, U-턴 금지 등의 상황을 경로탐색 알고리즘에 반영하기 위해서, Bellman의 정리의 최단경로로 결정된 경로상의 노드는 다시 중복되어 결정될 수 없다는 조건을 해결하기 위하여 링크비용만을 이용해 최단경로를 탐색하는

알고리즘이 Potts&Oliver(1972)에 의해 제시되었다. 즉, 노드기반 최적경로 탐색 알고리즘에서는 전 노드를 저장하는 반면, 링크기반 최적경로 탐색 알고리즘에서는 전 링크를 저장하여 노드의 중복 경유를 고려한 최적경로를 탐색하도록 하였다.

PRT 네트워크 시스템의 경우, 좌회전 및 U-턴 등의 상황과 같이 동일 노드를 재방문하는 경우는 본 과제에서는 고려되지 않고 있으므로 링크기반 최적경로 탐색 알고리즘의 적용 가능성은 희박하나, 다음에 살펴 볼 동적 최단경로 탐색기법을 위해 필요하므로 본 보고서에서는 링크기반 최적경로 탐색 알고리즘의 기본 개념을 살펴본다.

○ 링크기반 최적경로 탐색 알고리즘의 최적조건

$$LEC(o,i)+TP[link(o,i),link(i,j)]+LC(i,j)\le LEC(i,j)\quad \forall o,i,j\quad \text{노드집합} \qquad (3.2.7)$$

여기에서

▪ $LEC(o,i)$: 링크 (o,i)의 Link-End Cost, 즉 기점(Origin)에서 링크 (o,i)의 종점노드 I까지 도착 하는데 필요한 최소도착비용

▪ $TP[link(o,i),link(i,j)]$: 링크 (o,i)에서 링크 (i,j)로 진행하는 경로에 대한 회전벌점

▪ $LC(i,j)$: 링크 (i,j)의 통행비용

최적경로탐색이 링크기반으로 이루어짐에 따라 기존 노드기반 알고리즘에서 전 노드를 기억하는 대신, 링크기반에서는 전 링크(PL)를 저장한다.

$$PL(i,j)=link(o,i) \qquad (3.2.8)$$

○ 링크기반 최단경로 알고리즘

링크기반 최단경로 알고리즘을 단계별로 정리하면 다음과 같다. 여기서 R은 표지된 링크집합이며, R 는 표지되지 않은 링크 집합이다. 또 O는 기점과 연결된 모든 노드의 집합을 나타낸다.

[단계 1] 노드 h에서 노드 i,j O로 연결하는 링크 $link(h,i)$를 표지

링크 $link(h,i)$로 집합 R을 구성. 즉, $R=\{link(h,i)\}$

$LEC(h,i)=LC(h,i)$ 및 $LEC(h,j)=\infty\ \ \forall j\neq i$으로 설정

$L\,h,i) = \varnothing$으로 설정

[단계 2] 표지되지 않은 링크를 검색

만약, $LEC(i,j) + TP[link(i,j),link(j,k)] + LC(j,k) \le LEC(j,k)$

이면,

$LEC(j,k) = LEC(i,j) + TP[link(i,j),link(j,k)] + LC(j,k)$ 및

$PL(j,k) = link(i,j)$로 설정

[단계 3] 링크 $link(i,j)$를 표지

링크 $link(i,j)$를 집합 R에 추가하고, 집합 R에서 삭제

[단계 4] 만일 $\overline{R} = \varnothing$이면 정지하고, 그렇지 않으면 [단계 2]를 반복

링크기반 알고리즘의 장점은 쉽게 프로그램화(Coding)할 수 있으며, 회전제약이 있는 경우에도 이를 쉽게 고려할 수 있다는 것이다. 또한 이 알고리즘은 전통적인 수형망 알고리즘과 매우 유사해서 현재 널리 상용되고 있는 기존 수형망 알고리즘을 약간 수정해서 사용할 수 있다. 기존 수형망 알고리즘과의 차이는 단지 노드를 기반으로 최단경로를 찾지 않고 링크를 기반으로 찾는다는 점뿐이다.

(2) 전역탐색법

전역탐색법은 하나의 교통망에 다수의 교통수단이 존재함에 따라 환승이 발생하는 경우, 기존 분할탐색법에 의한 네트워크 확장 등의 상당한 추가비용이 소요되는 단점을 극복하기 위해 제안된 방법이다. 기존 최단경로 탐색 알고리즘은 환승이 이루어지는 지점마다 수단별 교통망의 노드간에 연결성을 부여하여 탐색영역문제를 극복할 수 있으나, 링크뿐 아니라 노드까지 교통수단의 수만큼 확장하게 되므로 네트워크가 소규모이며 고려되는 수단이 간단할 경우에는 문제가 없으나, 대규모 교통망에서 다수의 노선들을 고려하는 경우에는 적용에 상당한 어려움이 있다. 최근 전역탐색을 위하여 유전 알고리즘을 이용해 수단간 환승비용(Transfer Cost)에 의해 발생하는 탐색영역문제를 해결할 수 있으나, 이 방법 역시 유전자 개체발생 및 교배, 돌연변이 등 유전과정에 상당한 시간이 소요되는 한계가 있다.

(가) 전역탐색 최단경로 최적조건

교통망 G가 노드집합 N과 링크집합 A로 구성되어 있다고 가정하고[$G=(N,A)$], $LC(i,j)$는 노드 i에서 노드 j까지의 링크통행시간이며, $link(o,i)$는 노드 o에서 노드 i사이의 링크를 표현한다. $LEC(o,i)$는 기점에서 $link(o,i)$를 지나 노드 i까지의 최단경로비용으로 가정한다. 또한 교통수단은 각 링크가 갖고 있는 여러 속성 중 하나로 저장된다. $MCC[link(o,i),link(i,j)]$는 교통수단간 환승비용으로 하나의 수단(즉, 링크 (o,i)가 갖고 있는 교통수단)에서 또 다른 수단(즉, 링크 (i,j)가 갖고 있는 교통수단)으로 노드 i에서 갈아타는데 소요되는 비용이다. 따라서 만약 링크 (o,i)의 교통수단속성이 링크 (i,j)의 교통수단속성과 동일하다면, $MCC[link(o,i),link(i,j)]$는 0이 되며, 그렇지 않은 경우 환승비용을 갖게 된다. 또한, 회전제약을 고려하기 위하여 $TP[link(o,i),link(i,j)]$라는 변수를 도입하여 링크기반 알고리즘에서와 같이 링크 (o,i)에서 링크 (i,j)로 회전할 때 부과되는 회전벌점이며, 회전제약이 없으면 0이 된다.

이와 같이 정의된 변수들을 가지고 차량들간의 환승과 회전금지를 고려한 최단경로 최적조건을 표현하면 다음과 같다.

$$LEC(o,i) + MCC[link(o,i),link(i,j)] + TP[link(o,i),link(i,j)] + LC(i,j) \le LEC(i,j)$$
$$\forall o,\ i,\ j \quad N \qquad (3.2.9)$$

최적경로탐색이 링크기반으로 이루어짐에 따라 기존 알고리즘에서 전 노드를 기억하는 대신, 전 링크(PL)를 기억하게 된다. 즉, 링크 (i,j)의 전 링크는 다음과 같이 저장된다.

$$PL(i,j) = link(o,i) \qquad (3.2.10)$$

(나) 전역탐색 최단경로 알고리즘

앞서 살펴본 최적조건을 이용하여 링크기반 전역탐색 최단경로탐색절차를 기술하면 다음과 같다. 여기서 R은 표지된 링크집합이며, $\overline{R}$은 표지되지 않은 링크집합이고, $MT[link(i,j)]$는 링크 (i,j)의 교통수단속성(Mode Type)이다. 또한 O는 기점과 연결된 모든 노드 집합이다.

[단계1] 노드 h에서 노드 $,j$ 로 연결하는 링크 $link(h,i)$를 표지

링크 $link(h,i)$로 집합 R을 구성. 즉, $R = \{link(h,i)\}$

$LEC(h,i) = LC(h,i)$ 및 $LC(h,j) = \infty \quad \forall j \ne O$으로 설정

$L\,h,i) = \varnothing$ 으로 설정

[단계2] 표지되지 않은 링크를 검색

만약 $LEC(i,j) + MCC[link(i,j),link(j,k)] + TP[link(i,j),link(j,k)] + LC(j,k) \le LEC(j,k)$

이며,

$LEC(j,k) = LEC(i,j) + MCC[link(i,j),link(j,k)]$ 및 $+ TP[link(i,j),link(j,k)] + LC(j,k)$

$PL(j,k) = link(i,j)$

으로 설정

여기에서 만약, $MT[link(i,j)] = MT[link(j,k)]$, 이면

$MCC[link(i,j),link(j,k)] = 0$으로 설정

[단계3] 링크 $link(i,j)$를 표지

링크 $link(i,j)$를 집합 R에 추가하고, 집합 R에서 삭제

[단계4] 만일 $\overline{R} = \varnothing$이면 정지하고, 그렇지 않으면 [단계 2]를 반복

전역탐색 최단경로 알고리즘 역시 기존 수형망 알고리즘과 유사하나 노드기반이 아닌 링크기반이라는 차이가 있다. 그러나 이해하기 쉽고 실제 적용이 간편하다는 장점을 갖고 있으며, 복합교통망의 환승문제나 회전제약문제들을 고려하여 쉽게 최단경로를 탐색할 수 있는 장점을 지닌다.

(3) 동적 최적경로 탐색 기법

동적 최적경로 알고리듬은 전통적인 최단경로 알고리즘에서 사용하는 노드기반탐색방법이 아니라 링크기반의 탐색방법을 이용해 구축하는 것이 용이하다. 노드기반탐색방법의 경우, Bellman의 원리에 대한 기본가정이 지켜지지 않는 상황에서 올바른 탐색이 어려운데 반해, 링크기반의 탐색방법에서는 이러한 문제와 상관없이 최적경로 탐색이 가능하며, 계산비용을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

(가) 동적 최적경로 탐색 알고리즘의 변수 정의

- $C_a(t)$: 시간대 t에 링크 a의 시단(Start Node)에 도착한 차량이 링크 a의 종단(End Node)까지 주행하는 데 필요한 통행시간
- $EC_a(t)$: 시간대 t에 링크 a의 종단(EN_a)에 도착한 차량이 시단부터 종단까지 도착하는 데 소요한 통행시간
- SN_a : 링크 a의 시단
- EN_a : 링크 a의 종단
- BL_a : 링크 a의 $EC_a(t)$를 계산하는 데 고려한 링크 a의 역방향 링크
- $ARR_{a,n}$: 링크 a를 통해 노드 n에 도착한 시간
- ξ_r : 기점 r을 출발한 시간

(나) 동적 최적경로 탐색 알고리즘의 최적 조건

Bellman의 정리를 링크기반으로 바꾸고, 이를 이용해 실제통행시간을 이용한 최단경로 문제를 정의하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\mathrm{Min}Z = \min\{EC_a(ARR_{a,n}) + C_b(ARR_{a,n})\} \quad \text{(모든 링크 } a,b\text{에 대해)} \qquad (3.2.11)$$

(다) 동적 최적경로 알고리즘

최적경로 알고리즘은 사용되는 통행비용에 따라 예측에 의한(Actual, Predictive) 탐색과 순간적인(Instantaneous, Reactive) 탐색으로 구분되며, 예측에 의한 탐색은 각 시간대마다 반영된 통행량을 고려하여 최적경로를 탐색하는 데 반해, 순간적인 탐색은 초기시간대의 링크통행비용만을 이용하여 최적경로를 찾는다는 차이점이 있다. 두 방법 모두 노드가 아닌 링크를 중심으로 최적경로를 찾는다.

① 예측에 의한 동적 최적경로 탐색 알고리즘

[단계 1] 초기화

(1.1) 모든 시간대 및 모든 링크의 End-Cost($EC\,(t)$)를 ∞로 설정한다.

(1.2) 주어진 기점출발시간 ξ_r에 대해 기점 r을 링크의 종단으로 갖는 링크 a들의 $EC_a(\xi_r)$을 ξ_r로 설정한다.

$$EC_a(\xi_r) = \xi_r, \ \forall EN_a = r$$

(1.3) 현재 탐색노드 을 r로 설정하고, 현재의 탐색노드 r에 대한 도착시간을 기점출발시간으로 설정한다.

$$n = r, \quad RR_{,n} = \xi_r \quad \forall EN_a = r$$

[단계 2] 경로탐색

(2.1) 현재의 탐색노드 n을 링크의 시단으로 갖는 링크들에 대해 각 링크의 End-Cost를 계산한다.

$$\text{If } EC_a(ARR_{a,n}) + C_b(ARR_{a,n}) \le EC_b(ARR_{a,n} + C_b(ARR_{a,n}))$$

$$\text{then } EC_b(ARR_{a,n} + C_b(ARR_{a,n})) = EC_a(ARR_{a,n}) + C_b(ARR_{a,n})$$

$$\forall EN_a = n, \forall SN_b = n$$

(2.2) 계산된 각 링크 b의 $EC_b(\cdot)$ 중 그 값이 가장 작은 또는 기점으로부터 시간거리가 가장 짧은 것을 찾아 현재의 탐색노트 n을 EN_b로 설정한다.

$$n = EN_b$$

(2.3) 갱신된 탐색노드에 대한 도착시간을 설정한다.

$$ARR_{b,n} = \xi_r + EC_b(\cdot)$$

(2.4) 링크 a를 링크 b의 이전 링크 $BL_b = a$로 저장한다.

[단계 3] 정지

(3.1) 현재의 탐색노드가 종점 s와 같으면 정지한다.

(3.2) 종점 s가 링크의 종점인 링크 $b(EN_b = s)$들 중 가장 End-Cost $(EC_b(t))$가 작은 링크를 찾는다.

(3.3) 저장된 BL_b를 통해 기점까지의 최적경로를 재구성한다.

위 탐색과정에서 [단계 2]의 경로탐색과정은 동적 최적경로상의 각 도착노드까지 소요되는 시간대 수(Time Interval 수)만큼 해당 링크에 머무는 것으로 가정하고, 이때 각 노드까지의 도착시간을 이용하여 최적경로를 탐색한다.

② 순간적인 동적 최적경로 탐색 알고리즘

[단계 1] 초기화

(1.1) 모든 시간대 및 모든 링크의 End-Cost($EC_a(t)$)를 ∞로 설정한다.

(1.2) 주어진 기점출발시간 ξ_r에 대해 기점 r을 링크의 종단으로 갖는 링크 a들의 $EC_a(\xi_r)$을 ξ_r로 설정한다.

$$EC_a(\xi_r) = \xi_r, \quad \forall EN_a = r$$

(1.3) 현재 탐색노드 n을 r로 설정하고, 현재의 탐색노드 r에 대한 도착시간을 기점출발시간으로 설정한다.

$$n = r, \quad ARR_{a,n} = \xi_r \quad \forall EN_a = r$$

[단계 2] 경로탐색

(2.1) 현재의 탐색노드 n을 링크의 시단으로 갖는 링크들에 대해 각 링크의 End-Cost를 계산한다.

$$\text{If } EC_a(ARR_{a,n}) + C_b(ARR_{a,n}) \le EC_b(ARR_{a,n})$$

$$\text{then } EC_b(ARR_{a,n}) = EC_a(ARR_{a,n}) + C_b(ARR_{a,n})$$

$$\forall EN_a = n, \forall SN_b = n$$

(2.2) 계산된 각 링크 b의 $EC_b(\cdot)$ 중 그 값이 가장 작은 또는 기점으로부터 시간거리가 가장 짧은 것을 찾아 현재의 탐색노트 n을 EN_b로 설정한다.

$$n = EN_b$$

(2.3) 링크 a를 링크 b의 이전 링크 $BL_b = a$로 저장한다.

[단계 3] 정지

(3.1) 현재의 탐색노드가 종점 s와 같으면 정지한다.

(3.2) 종점 s가 링크의 종점인 링크 $b(EN_b = s)$들 중 가장 End-Cost $(EC_b(t))$가 작은 링크를 찾는다.

(3.3) 저장된 BL_b를 통해 기점까지의 최단경로를 재구성한다.

순간적인 동적 최적경로 탐색 알고리즘은 예측에 의한 동적 최적경로 탐색 알고리즘과는 달리 링크통행시간을 해당 링크의 기점에 차량이 도착했을 때의 링크통행시간으로 고려하는 것이 아니라 기점을 출발할 때의 값으로 계산한다. 따라서 [단계 2]에서 $RR_{,n}$ ξ_r로 고정된 상태이고, 이 값의 갱신은 탐색과정동안 이루어지지 않는다.

(4) 전문가 시스템

전문가 시스템의 개념은 특정 분야의 전문가가 사용하는 지식을 이용하여 문제해결과정에서 전문가의 논리체계를 컴퓨터가 계산할 수 있도록 구현된 방법이다. 일반적으로 알고리즘적 방법은 문제에 대한 정확한 해를 구하는데 목적을 두고 있으나, 경험적 방법(Heuristic Method)은 빠른 시간내에 대부분의 경우에 받아들여질 수 있을 정도의 해를 제시할 수 있다. 특히, 경험적 방법은 최적의 해를 얻을 수 없거나 최적 수준에 근사한 해만으로도 만족할 수 있는 경우, 기존의 알고리즘적 방법보다 빠른 속도로 해를 얻을 수 있는 장점이 있다.

알고리즘적 방법이 모든 경로를 분석해야 하는 반면, 전문가 시스템에서는 일부의 중요한 경로만을 분석함으로써 최적에 가까운 해를 보다 신속하게 구할 수 있다. 특히, 규모가 크고 복잡한 대상일수록 매우 효과적이며, 해답의 도출과정에 대한 설명 장치가 있어서 수정 또한 용이한 특징을 지니고 있다.

전문가 시스템의 문제 해결 방법은 ① 전체 문제 영역에서 관련이 없는 부분을 제거하여 보다 효율적으로 해답을 찾기 위한 가지치기(Pruning) 과정, ② 특성에 따라 몇 개의 작은 해로 분할하여 각 분할된 부분에서의 해답(부분해, 즉 출발지와 도착지 사이의 경유지에 대한 해)를 구하여 전역해(Global solution)를 구하는 부분해(Island Driving) 탐색과정, ③ 운전자의 통행경험을 바탕으로 신경망 등의 학습과정을 통해 과거의 CB(Case base)를 현재의 상황과 비교하여 경로를 탐색하는 경험기반 탐색(CBS : Case-based Search) 과정으로 구성된다.

(5) 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 생물학의 진화이론을 기초로 하여 공학적으로 최적 해를 구하는 알고리즘으로서, 후보해(Candidate Solution)를 이진수 문자열로 이루어진 염색체(Chromosome)로 표현하며, 이 염색체들의 집합을 모집단(Population)이라 한다. 알고리즘의 기본개념은 적자생존의 원칙에 따라, 모집단의 개체가 적합도(Fitness)가 높으면 선택되고(Selection), 낮으면 도태되며, 선택된 집단에서는 교배(Crossover)와 돌연변이(Mutation)를 통해 새로운 개체(자손)를 생성하며 자손은 다음 세대의 모집단을 구성하여 반복과정을 통해 집단 전체의 평가치를 향상시켜 최적해에 수렴하는 과정으로 해를 구한다.

유전자 알고리즘의 특징은 초기 데이터가 많지 않을 때 사용할 수 있으며, 복잡한 문제들에 대한 빠른 해답을 얻을 수 있으며, 다른 문제로 확장이 쉽고 병렬 처리 구조로 쉽게 응용이 가능하다는 장점을 가지고 있으나, 문제의 특성에 따라 적절하게 부호화(Encoding) 하지 않으면 해를 찾을 수 없으며, 세대가 거듭될수록 유전적 다양성이 상실되는 불완전 수렴(Premature Convergence)의 한계를 지니고 있다.

2. 통행비용의 결정

가. 통행비용함수

(1) 정적 통행비용함수(Static Travel Cost Function)

(가) 링크통행비용함수

① 경험식(Empirical Equations)

관측된 통행량과 통행비용으로부터 도출된 비용함수식으로 연구자에 따라 여러 형태로 개발되었다. Smock(1962)는 디트로이트 교통연구(Detroit Area Transportation Study)에 사용하기 위하여 다음과 같은 비용함수를 개발했는데, 여기서 c_0는 자유주행시간을, Q_s는 정상상태의 링크용량을, v는 링크통행량을 나타낸다.

$$= c \exp(v/\ _s) \tag{3.2.12}$$

Mosher(1963)는 로그형태를 취하여 v=Q_s에 점근하는 다음 함수식을 제안하였다.

$$c = c_0 - \ln(1 - v/Q_s), \quad \text{기서 } v < Q_s \tag{3.2.13}$$

BPR(1964)은 미국 공로국에서 개발되어 가장 널리 사용되는 함수식으로서 함수의 조작이 쉬우며, 특정치에 점근(Asymptote)하지 않기 때문에 어떤 통행량에도 통행비용을 구할 수 있다는 특징을 갖고 있다. 그러나 BPR 함수의 이런 특성은 Spiess(1989)에 의해 비현실적이라는 비판을 받은 바 있다.

$$= c\left[1+\alpha_1\left(\frac{v}{p}\right)^{\alpha}\right] \quad (3.2.14)$$

여기서 Qp는 링크실용용량(Practical Capacity)을 나타낸다.

Soltman(1965)은 피츠버그 교통연구에 사용하기 위하여 다음과 같은 비용함수를 개발하였으며,

$$c = c_0 2^{v/\ s}, \quad \text{기서 } v/Q_p \le 2 \quad (3.2.15)$$

Overgaard(1967)는 Soltman과 Smock의 식을 일반화시킨 다음 비용함수식을 제시하였다.

$$c = c_0 \alpha_1^{(v/Q_p)^{\alpha}} \quad (3.2.16)$$

② 이론식(Theoretical Equations)

이론식은 링크 내 주행시간과 지체시간의 합을 링크길이로 나누어 통행비용함수식을 구하는 것으로서 Campbell, et al.과 Wardrop등이 제안한 식이 있다. Campbell, et al. (1959)은 시카고 교통연구(Chicago Area Transportation Study : CATS)를 위하여 다음과 같은 비용함수를 제시하였다.

$$c = \begin{matrix} c_0, & v/Q \le 0.6 \\ c_0 + \alpha(v/Q - 0.6), & v/Q > 0.6 \end{matrix} \quad (3.2.17)$$

Wardrop(1968)은 런던의 주행속도와 교통량으로부터 다음의 비용함수식을 개발하였다.

$$c = \frac{c_0}{(1-v/Q)} + \frac{\alpha_2}{(1-v/\alpha_1)D} \quad (3.2.18)$$

여기서 D는 링크길이를 나타낸다.

(나) 교차로 지체함수식(Junction Delay)

신호교차로의 지체와 서비스 수준을 결정하는 지체함수에 대한 연구는 교통공학의 주

요 연구 분야로서 진행되어 오고 있는데, 교차로의 지체함수는 해당 교차로로 진입하는 각 접근로의 교통량에 의해 결정되며, 교차로 포화도(Degree of Saturation)에 따라 다음과 같이 구분된다.

① 비포화상태(v/Q<=1.0)

포화도가 1.0이하인 비포화상태로 정상지체라고 한다.

Pollaczek-Khintchine(P-K)은 차량의 도착형태가 푸아송 분포를 이루며 출발형태가 일정하다고 가정하고, 대기행렬이론에 의하여 다음과 같은 균일지체시간 함수식을 개발하였다.

$$d = \frac{x^2}{2v(1-x)} \quad (3.2.19)$$

여기서 x는 포화도(=v/λs)를 나타낸다.

또 Webster(1958)는 균일지체와 임의지체 (Random Delay 또는 Overflow Delay)를 합한 다음과 같은 지체식을 제안하였다. 여기서 임의지체는 임의로 도착하는 차량들이 해당 주기 내에 처리되지 못하고 다음 주기로 전이됨에 따라 발생하는 지체를 표현하고 있다.

$$d = \frac{9}{10}\left[\frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2v(1-x)}\right] \quad (3.2.20)$$

그 밖에 Davison(1966)은 다음과 같은 지체식으로 개발하였으며,

$$d = t_0\left(1 + k\frac{x}{1-x}\right), (0 \le k \le 1) \quad (3.2.21)$$

여기서 k는 서비스 수준을 나타내는 파라미터를 나타낸다. Vuren(1990)은 Davision 지체식과 유사한 비용함수식을 제안하였다.

② 과포화상태(v/Q>1.0)

통행량이 용량을 초과한 포화도가 1.0이상인 상태로 분석시간을 고려한 시간종속적인 지체함수식은 다음과 같다. Sheared 지체함수는 영국의 TRRL에서 P-K 함수식과 과포화시의 대기행렬식을 결합한 식으로 다음과 같다.

$$= \frac{1}{2} \qquad + B - A \Big) \tag{3.2.22}$$

여기서 $A = (c-v)/2c, B = vT/c^2$

T: 분석시간(Overloaded Time Period)이다.

위 식에 용량 Q=λs와 Webster의 균일지체를 추가하면, 다음과 같은 정리된다.

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{T}{4\lambda}\left[\left(\frac{v}{s}-\lambda\right) + \sqrt{\left(\frac{v}{s}-\lambda\right)^2 + \frac{4v}{s^2 T}}\right] \tag{3.2.23}$$

여기서 C는 주기이며, λ는 녹색시간비율이다.

Akcelik(1988)은 과포화시 다음과 같은 결정적 지체함수식(Deterministic Overflow Delay)을 제안하였으며, 임의지체와 대기행렬길이는 다음과 같은 관계가 있음을 보여 주었다.

- 과포화시 결정적 지체함수식 : d = 1800T(x-1) (for x>1)
- 임의지체와 대기행렬길이의 관계식 : $d_0 = 3600 \frac{N_0}{Q}$

여기서 d_0는 임의지체(sec), N_0는 평균대기행렬길이(veh) 그리고 Q는 용량(veh/h)을 의미한다.

(2) 동적 통행비용함수(Dynamic Travel Cost Function)

하나의 링크에 대하여 통행시간은 2개의 요소로 구성된다고 가정할 수 있다. 첫 번째는 링크의 비혼잡부분에서의 순항시간이고, 두 번째 부분은 교차부에서의 혼잡통행시간 또는 대기지체시간에 하류부 링크로 진행하는 데 필요한 시간이다. 시간t에서의 순간통행시간이라 하면, 다음 두 가지 항으로 구성된다.

① 링크 a의 비혼잡 순항시간 : $D_a(t)$

② 순간대기지체 : $D_{a_2}(t)$

이는 다음과 같이 하나의 식으로 나타낼 수 있다.

$$c_a(t) = D_{a_1}(t) + D_{a_2}(t) \tag{3.2.24}$$

따라서 기종점쌍 r, s 사이의 각 경로 p에 대한 순간경로통행시간 $\psi_p^{rs}(t)$는 경로 p상의 모든 링크에 대한 링크통행시간의 합으로 표현된다.

$$\psi_p^{rs}(t) = \sum_{a \quad rsp} c_a(t) \quad \forall p, r, s \tag{3.2.25}$$

그러므로 순간경로통행시간은 만약 현재의 교통조건이 차량이 종점에 도착할 때까지 변하지 않는 경우 차량이 경험하는 통행시간을 의미한다. 여기서 $\tau_a(t)$를 시간 t에 링크 a에 진입한 차량이 실제로 링크 a를 통행하는 데 소요된 시간이라 하고, $\eta_a^{rs}(t)$를 시간 t에 기점 r에서 종점 s를 향해 출발한 차량이 경로 p상에서 경험하게 되는 실제통행시간이라 하면, 실제링크통행시간 $\tau_a(t)$가 결정되면 실제경로통행시간 $\eta_a^{rs}(t)$는 귀납식(Recursive Formula)을 통해 계산할 수 있다.

교통망의 통행조건은 시간에 따라 변하기 때문에 실제통행시간은 순간통행시간과 상당한 차이를 보이게 되며, 특히 경로나 통행시간이 긴 경우 그 차이는 더욱 커지게 된다. 그러나 만약 링크의 길이나 통행시간이 짧은 경우 순간링크통행시간과 실제링크통행시간의 차이는 크지 않을 수 있다. 순간통행시간은 실제통행시간보다는 쉽게 추정할 수 있는데, 시험차량이나 검지기를 통해 실시간으로 현재의 교통상황을 파악할 수 있기 때문이다.

(가) 확률적 링크통행시간함수

동적 통행배정모형에서 분석시간대의 기간이 5~30분 또는 그 이상이 되면 통행량의 변동에 따른 통행시간의 확률적 변동을 고려해야 한다.

① 이동 대기행렬 개념(Moving Queue Concept)

하나의 링크를 차량의 대기가 발생하지 않은 주행구간(a_1)과 차량의 지체로 대기가 발생하는 대기행렬구간(a_2)으로 구분하여 표현하면, 링크 a의 k시간대 통행시간은 다음과 같이 표현된다.

$$(k) = \quad _a(k) + D_{a_2}(k) \qquad \forall a \tag{3.2.26}$$

여기서 상위링크 a_1의 순항시간은 $D_{a_1}(k)$이며, 하위링크 a_2의 대기지체는 $D_{a_2}(k)$이다.

② 순항시간(Cruise Time)

링크 a의 길이를 l_a[miles]라 하고, e_{am}[veh/miles]을 링크 a의 최대밀도라 하며, 시간대 k의 첫 번째 순간과 마지막 순간의 차량지체길이를 각각 $x_{a_2}(k)/e_{am}$ $x_{a_2}(k+1)/e_{am}$이라 하자. 이 경우 평균지체길이는 $x_{a_2}(k)+x_{a_2}(k+1)\big]/2_{am}$이 된다. 따라서 유입교통류가 지체에 도달하기까지의 실제순항거리는 다음과 같다.

$$- \; x_a(k)+x_{a_2}(k)+1\big]/2e_{am} \tag{3.2.27}$$

따라서 시간대 k 동안 링크 a에 진입한 차량의 실제순항시간은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$D_{a_1}(k) = 3600 \begin{matrix} l_1 - \dfrac{x_{a_2}(k)+x_{a_2}(k+1)}{2e_{am}} \\ w_{a_1}(k) \end{matrix} = 1800 \begin{matrix} 2l_a e_{am} - \left[x_{a_2}(k)+x_{a_2}(k+1)\right] \\ w_{a_1}(k)\cdot e_{am} \end{matrix} \tag{3.2.28}$$

여기서 $w_{a_1}(t)$는 자유통행속도이다.

③ 지체 및 링크통행시간 함수(Delay and Link Travel Time Function)

시간대 k동안 링크 a의 하류부 교차로에 도착한 차량에 대한 평균지체 $D_{a_2}(k)$는 두 지체의 합으로서 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$D_{a_2}(k) = \alpha_a d_{a_1}(k) + \beta_a d_{a_2}(k) \qquad \forall a \tag{3.2.29}$$

여기서 d_{a_1}는 임의성이 없는(Non-random) 지체(신호주기의 영향에 의해 발생하는 지체로서 도착교통류가 평균유입교통류율로 도착하고 임의도착이 없다고 가정한 뒤 계산)이

고, $d_{a_1}(k)$는 과포화 교통량과 임의도착에 의해 나타나는 임의지체를 나타낸다. α_a는 신호와 지체저어형태의 영향을 반영하기 위한 지체보정인자이다(0=α_a=1). 그리고 β_a는 주기마다 도착의 변동에 대한 필터효과를 주기 위한 지체보정계수이다($0 \le \beta_a \le 1$).

- $d_{a_1}(k)$는 Webster 식에서 균일지체를 나타내는 첫 번째 항이며,

$$d_{a_1}(k) = \begin{matrix} 0.5c\left[1 - \dfrac{g(k)}{c}\right]^2 \\ 1-\rho_a(k)g(k) \\ c \end{matrix} \tag{3.2.30}$$

- $d_{a_2}(k)$는 과포화상태에서의 지체도로서 다음과 같다.

$$d_{a_2}(k) = 3600 \begin{matrix} x_{a_2}(k) \\ \mu_a(k) \end{matrix} + 900\Delta k \times \; p_a(k)\big]^n \left\{ \left[\rho_a(k)-1\right] + \; \left[p_a(k)-1\right]^2 + \begin{matrix} m\rho_a(k) \\ \mu_a(k)\Delta k \end{matrix} \right\}^{\frac{1}{2}} \tag{3.2.31}$$

따라서 Δk가 5분 이상인 장시간의 동적 링크통행시간함수는 다음과 같다.

$$\tau_a(k) = D_{a_1}(k) + \alpha_a d_{a_1}(k) + \beta_a d_{a_2}(k) \quad \forall a \tag{3.2.32}$$

(나) 결정적 링크통행시간함수

시간대의 길이가 1~5분 이내의 경우 결정적 지체함수를 사용할 수 있다. 일반적으로 링크유출부에서의 지체는 결정적 지체의 확률적 지체를 포함한다. 확률적 지체란 수요와 용량이 짧은 시간 동안의 변동에 의해 발생한다. 만약 상대적으로 짧은 시간간격을 고려할 경우(1~5분), 이러한 변동은 도착교통류패턴이나 용량패턴에 포함한다. 따라서 도착 및 유출교통류율은 짧은 시간간격을 이용할 경우 정상(Steady)이라고 가정할 수 있고, 지체 추정시 그 오차는 무시할 수 있다. 즉, 신호교차로에서 교통류 도착의 임의성 영향은 짧은 시간 동안에는 무시할 수 있다. 따라서 확률적인 지체는 무시할 수 있고, 오직 결정적 지체만이 고려된다. 시간대 k동안 차량당 평균링크통행시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(k) = \quad_{a}(k) + D_{a_2}(k) \qquad \forall a \tag{3.2.33}$$

확률적 통행시간함수와 결정적 통행시간함수의 가장 큰 차이는 두 번째 항 $k)$이다. 시간대 $[k,k+1]$ 동안 링크 a의 유출부에 도착하는 차량에 대한 평균지체 $D_{a_2}(k)$는 다음의 두 항의 합으로 나타낼 수 있다.

$$D_{a_2}(k) = \alpha_a d_{a_1}(k) + \beta_a d_{a_2}(k) \quad \forall a \tag{3.2.34}$$

여기서 $d_{a_1}(k)$는 각 주기마다 평균유입교통류율에서 임의적 도착이 아니라는 상황을 가정할 때 신호주기의 영향으로 나타나는 것으로 사이클 지체(Cyclic Delay)라 한다. $d_{a_2}(k)$는 특정한 기간 동안 도착한 차량들이 경험하는 과포화 지체를 의미한다. α_a는 링크 a에 대한 지체보정인자를 의미하는데, 이 값은 신호과정과 지체상의 제어형태에 따라 결정된다($0 \le \alpha_a = 1$). 필터링 효과가 용량제약식에 완전히 반영되어 있고, 시간대 동안 추가적인 유입교통량 변동이 없기 때문에 $\beta_a = 1$로 설정한다. 첫 번째 지체항 $d_{a_1}(k)$는 Webster 식을 이용할 수 있다.

따라서 단기 시간간격에 대한 동적 링크동행시간함수를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\tau_a = D_{a_1}(k) + \alpha_a d_{a_1}(k) + \beta_a d_{a_2}(k) \quad \forall a \tag{3.2.35}$$

여기서 $d_{a_2}(k)$는 다음과 같으며, $D_{a_1}(k)$와 $d_{a_1}(k)$는 확률적 링크통행시간함수에서 구한 값이다.

$$\begin{aligned} d_{a_2}(k) &= 3600 \frac{u_{a_2}(k) - v_{a_2}(k)\big] \frac{\Delta k}{2} + x_{a_2}(k)}{\mu_a(k)} \\ &= 1800 \frac{\big[u_{a_2}(k) - v_{a_2}(k)\big]\Delta k + 2x_{a_2}(k)}{\mu_a(k)} \end{aligned} \tag{3.2.36}$$

나. 통행시간 예측 알고리즘

(1) 통행시간 예측 알고리즘의 기본개념

PRT의 운행에 있어서 시간의 변화에 따라 변화하는 PRT 통행시간의 예측은 최적 경로탐색 알고리즘 설계에 있어서 중요한 요소이다. PRT 운행에 있어서 중앙제어장치는 개별 PRT 차량의 행선지 정보 및 경유 노선에 대한 정보를 사전에 통보받을 수 있는 환경이므로 통행시간 예측을 일반 도로교통에 비해 용이하게 수행할 수 있으나, 동적 최적경로탐색 등의 방법을 적용할 경우 PRT 차량의 운행 노선은 운행 서비스 도중 변하게 되며 이에 따른 중앙제어장치의 모든 PRT 차량에 대한 개별차량 노선변경 정보의 갱신이 실시간으로 이루어져야 한다. 본 절에서는 개별차량 노선변경 정보의 실시간 갱신에 따른 시스템 구성의 복잡도 증가 및 차량과 중앙제어장치간의 정보전송의 신뢰성을 감안하여 기존 도로교통분야의 통행시간 예측 알고리즘을 조사 및 분석하여 PRT 네트워크 운행제어 알고리즘에의 적용 가능성을 검토하고 하고자 한다.

도로교통분야에 적용되고 있는 기존의 통행시간 예측방법으로는 ARIMA모형(Box-Jenkins 분석), 칼만필터(Kalman Filter), 신경망(Neural Network) 등이 있다.

(가) ARIMA모형

① 개요 및 특징

ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average) 모형은 Box와 Jenkins(1976년)에 의해 제시된 시계열 자료를 분석하는 방법으로서, 현재 시점의 관측값을 과거 관측값들과 백색잡음이라고 부르는 오차들의 형태로 표현한 모형이다. ARIMA 모형은 계절적인 변동과 같은 양상을 내포하는 시계열 예측에 유용하며, 관측값들의 형태가 정상과정(Stationary)의 시계열인 경우에만 식별이 가능한 특성을 지니고 있다.

② ARIMA모형의 프로세스

ARIMA모형을 구현하기 위한 프로세스는 식별과정, 모수추정과정, 진단과정을 거쳐 최종모형이 설정되며, 이를 적용하여 예측값을 구하는 과정으로 이루어진다.

- 모형식별과정(Model Identification)

식별과정은 과거에 대한 시계열자료나 모형설계자의 경험을 통하여 시계열 데이터에 적합한 잠정적인 ARIMA(p,d,q)모형을 설정하는 과정이며, 시계열 도표(Time Series Plot)와 표본 자기상관함수(SACF: Sample Auto Correlation Function), 표본 부분 자기상관함수(SPACF: Sample Partial Auto Correlation Function) 등의 데이터를 분석하여 정상과정의 분포를 지니는지 여부를 확인하며, 만일 비정상 시계열이라면 변수변환 또는 차분법 등을 적용하여 정상과정을 특성을 지니는 시계열 모형을 도출하는 과정이다.

• 모수추정과정(Estimation)

ARIMA모형을 구성하는 모수들의 추정치들이 통계적으로 의미를 지니는 수치이고, 정상성과 가역성조건을 만족하는지 여부를 판정하여, 만일 조건을 만족시키지 못하면 모형식별과정을 다시 수행한다.

• 모형진단과정(Diagnostic Checking)

도출된 모형의 합당성 여부를 잔차(Residual)의 자기상관함수가 확률적으로 의미를 지니지 않아야 하는 조건과 포트맨토(Portmanteau) 검정방법의 Q 통계량이 통계적으로 의미를 지니지 않아야 한다는 조건을 통해 진단을 실시하여 최종단계로 선택된 모형을 이용하여 시계열의 미래값을 예측한다.

(나) 칼만필터

① 개요 및 특징

R.E Kalman(1960년)에 의해 제시된 알고리즘으로서, 선형의 최적 필터링 문제에 대하여 선형 동적시스템의 상태공간화에 기초를 두고 반복적인 연산에 의해 해결책을 제공하며, 동적환경 및 정적환경에 적용이 가능하다. 과거의 자료를 저장할필요가 없으며 실시간으로 계산된 측정치를 이용하여 필터의 이전 추정치(Previous Estimate)를 새로운 추정치로 수정하고 교체하여 연산하는 방식으로 컴퓨터에 의해 실시간으로 처가 가능하다.

칼만필터 모형은 미지의 상태변수를 추정해내고 추정된 잡음의 영향을 최소화하는 것으로서 임의의 시계열의 자료를 얻을 경우 발생되는 결손데이터의 보충에 이용되는 순환알고리즘(Recursive Algorithm)으로 시스템 오차를 최소화하고 적응도가 높으며 자체적인 오차분석이 가능한 장점을 지니나 선형모델에만 적용시킬 수 있는 한계를 지니고 있다.

② 칼만 필터링 모형

칼만 필터 알고리즘은 시스템 방정식(System Equation), 측정 방정식(Measurement Equation), 칼만 필터링(Kalman Filtering)의 3가지 단계로 구분되며, 칼만 필터링 문제는 최적 조건에서 미지의 상태에 대한 상태방정식과 측정 방정식을 연합하여 해를 구한다.

관측 데이터를 이용하여 추정 이산시간 단계에서 최소평균 오차를 추정하며, 최적 방법에서 추정을 이끌어 내기 위해, 부정확한 추정 때문에 비용함수를 필요로 하게 된다.

칼만 필터는 재귀적으로 동작하며, 바로 이전 시간에 추정한 값을 토대로 해서 현재의 값을 추정하고, 또한 바로 이전 시간 외의 측정값이나 추정값은 사용되지 않는다.

칼만필터의 이전 시간에 추정된 상태에 대해, 그 상태에서 사용자 입력을 가했을 때 예상되는 추정값을 계산하는 예측(Prediction) 단계와 예측 값과 실제로 측정된 값간의 오차를 이용해 정확한 값을 계산하는 보정(Update) 단계로 나뉜다.

기본적으로 칼만 필터는 선형성을 가정하고 있지만, 실제적으로는 많은 모델이 비선형 구조를 지니며 이러한 경우 칼만 필터를 그대로 근사화해서 적용하게 되면 좋지 않은 결과를 얻는 경우가 많다. 이러한 경우, 확장 칼만필터(EKF : Extended Kalman Filter)와 같이 칼만 필터에서의 선형성 가정을 완화시켜 비선형에도 사용할 수 있도록 한 필터를 적용할 수도 있다.

(다) 신경망

① 개요 및 특징

Mccullioch과 Pitts(1943년)에 의해 제시된 방법으로서, 인간의 두뇌와 같이 생각하고 판단하며, 인식할 수 있는 능력을 구현하기 위해 뇌의 정보처리 메커니즘을 수학적 또는 생물학적인 측면에서 관찰하여 그것과 비슷하게 컴퓨터로 구현하는 방법이다. 신경망은 적응성, 학습성, 병렬구조의 특성을 지니며, 음성 또는 영상인식, 진단 및 예측으로 인한 의사결정시스템, 학습알고리즘을 이용한 비선형계의 예측 등의 분야에 이용된다.

신경망은 간단한 기능을 가진 프로세스들이 모여서 고도로 복잡한 문제를 해결할 수 있으며, 일부 처리 단위가 손상되더라도 전체망의 정확도는 떨어지지 않는 특징을 지니고 있다. 또한, 새로운 패턴을 학습하기 위해 스스로 연결강도를 조정 할 수 있으며, 프로그래밍과 수식적으로 표현이 어려운 반면 구조나 메커니즘이 익숙한 경우에 적합하다.

② 신경망 모형

신경망은 시냅스(Synapse)의 결합으로 네트워크를 형성하는 노드인 인공 뉴런(Neuron)이 학습을 통해 시냅스의 결합 세기를 변화시켜, 문제 해결 능력을 갖게 하는 모델 전반을 의미한다.

신경망모형중 역전파신경망 알고리즘은 초기 신경망 모형이었던 퍼셉트론즈(Perceptrons)의 단점을 극복하기 위해 입력층과 출력층 사이에 한 개 이상의 은닉층(Hidden Layer)을 추가적으로 보완한 모형으로서 모든 입력패턴에 의해 발생하는 오차함수를 최소화하는 방향으로 연결강도를 조정하며, 은닉층의 노드특성을 비선형으로 함

으로써 퍼셉트론즈의 단점을 극복하는 방법이다.

역전파신경망 알고리즘은 초기화 과정(1~2단계), 전방향(Forward) 처리과정(3~5단계), 오차계산 과정(6~7단계), 역방향(Backward) 처리과정(8~9단계), 반복과정으로 구성되어 있음.

- 초기화 과정
  - 1단계 : 학습할 입력패턴과 출력패턴을 결정하여 학습패턴을 만듦
  - 2단계 : 입력층과 은닉층의 연결강도 가중치를 -0.5에서 0.5사이에 임의값으로 초기화함

- 전방향 처리과정
  - 3단계 : 학습패턴을 입력층에 입력시킴
  - 4단계 : 은닉층 뉴런의 출력을 구함
  - 5단계 : 출력층 뉴런의 출력을 구함

- 오차계산 과정
  - 6단계 : 입력패턴에 대해 출력된 패턴과 원하는 출력패턴 사이에 대한 출력층 뉴런에 대한 오차를 구함.
  - 7단계 : 출력층 뉴런에서 전달된 오차로 은닉층 뉴런에 대한 오차를 구함.

- 역방향 처리과정
  - 8단계 : 출력층 뉴런에 대한 오차를 이용하여 은닉층의 연결강도를 수정함
  - 9단계 : 은닉층 뉴런에 대한 오차를 이용하여 입력층의 연결강도를 수정함

- 반복과정
  - 10단계 : 모든 학습패턴이 학습될 때까지 3단계에서 9단계까지를 반복함
  - 11단계 : 모든 학습패턴의 학습이 끝나면 학습의 반복횟수를 1회 증가시킴
  - 12단계 : 학습의 반복횟수가 제한횟수보다 적거나 시스템의 오차가 제한오차보다 크면 2단계에서 11단계까지를 반복 수행함
  - 13단계 : 학습 종료

(2) 통행시간 예측 알고리즘의 적용 사례 검토

본 절에서는 향후 PRT 적용을 위한 기초자료로 활용하고자 기존 도로교통망에서 수행된 시험된 사례를 바탕으로 ARIMA모형, 칼만필터모형, 신경망모형에 대한 통행시간 예측 알고리즘의 성능 비교 결과를 검토하였다.

강남 논현로의 논현 천주교회와 안세병원간의 진입부와 진출부에서 차량번호판 식별법(license plate method)을 통해 측정된 통행시간자료를 적용하여 분석된 연구결과(박병규, 1995년)에 따르면, 적합성을 평가하는 척도인 평균절대상대오차(MARE), 평균절대오차(MAE), 평균제곱오차(RMSE), 등가계수(EC) 등에 있어서 신경망모형 방법이 ARIMA모형 및 칼만필터모형에 비해 성능이 우수한 것으로 나타났다. 다만, 단일링크에 대하여 수행된 시험결과로서 기종점 통행시간에 대한 예측모형으로 확대 할 수 있는 방안 및 학습정보(Training Data)에 의해 결정된 연결강도와 임계치를 고정시켜서 통행시간을 계속 예측하기보다는 이러한 학습정보를 일정기간마다 새로이 구성하여 학습시킴으로서 보다 효율적이고 정밀한 통행시간의 예측이 필요한 것으로 분석되었다.

올림픽대로에서 검지기에 의해 측정된 자료를 바탕으로 1, 5, 10, 15분 후의 단기간 속도를 예측한 연구결과(조범철, 1998년)에 따르면, 예측의 정확도 면에서 신경망모형과 칼만필터모형은 예측 시간간격이 늘어나더라도 변화가 다른 모형들에 비해서 미미한 것으로 나타나 ARIMA모형보다 인공신경망과 칼만필터모형이 예측시간 간격후의 속도를 보다 더 정확하게 예측하는 것으로 평가되었다. 다만, 동적인 적응성검사 및 정적인 적응성검사에서 칼만필터모형이 보다 우수한 결과를 나타내었는데, 이는 학습모드에 대한 신뢰도의 보정이 필요한 것으로 검토되었다.

경부선 고속도로의 5개 영업소(서울, 수원, 천안, 청주, 대전)에 대하여 TCS(Toll Colletion System)을 통해 수집된 자료를 바탕으로 서울-수원간의 단거리 구간과 서울-대전간의 장거리 구간으로 구분하여 예측한 연구결과(남궁성, 1999년)에 따르면, 단기 통행시간예측에서는 칼만필터모형이 우수하며, 장기 통행시간예측에 있어서는 신경망모형이 우수한 것을 분석되었다.

이와 같은 기존 연구사례에 따르면, 기존의 통계학적인 기법을 사용한 ARIMA 모형에 비해 칼만필터모형 및 신경망모형이 보다 우수한 성능을 지니고 있는 것으로 판단되며, 특히 단구간에서 운행되고 운행상황의 변동이 클 것으로 예상되는 PRT 시스템에 있어서는 실시간 정보의 처리가 가능하고 처리시간의 단축이 가능한 칼만필터 모형 및 신경망모형이 우수한 것으로 검토되었다. 또한 학습모드의 신뢰성 및 장기 학습이 필요한 신경망모형에 비해 단기 예측이 필요한 PRT 시스템에서는 칼만필터모형이 더욱 적합할 것으로 검토되었다.

3. PRT 네트워크 운행제어 개발의 고려사항

가. 최적경로 탐색 알고리즘 설계시 고려사항

최적경로 탐색 알고리즘을 적용하기 위한 대상의 조건에 따라 고려할 사항을 살펴보면 다음과 같다.

① 탐색하는 경로의 숫자가 하나인가 아니면 복수인가이다. - 일반적인 최단경로 탐색 알고리즘의 경우, 가장 비용이 낮은 경로, 즉 최단경로만을 구축하고 나머지 경로들에 대한 정보는 저장하지 않는데, 특별한 목적에서 필요할 경우 제2, 제3의 최단경로도 저장할 수 있다. 이와 같이 하나 이상의 경로를 동시에 탐색하는 알고리즘을 K-최단경로 알고리즘(K-shortest Path Algorithm)이라 한다(Yen, 1971; Cascetta, et al., 1996).

② 경로탐색의 기준을 단순히 하나의 값(예를 들면 통행시간, 금전비용 등)으로 설정하는가 아니면 복수의 기준을 적용하는가이다. - 이러한 연구는 주로 OR 분야에서 많은 연구가 이루어졌는데, 이 알고리즘 역시 경로탐색의 결과에 따라 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째는 하나 이상의 기준이 있을 경우 각 기준치들을 파라미터를 이용해 하나의 기준단위로 환산하고, 이 환산된 결과에 대해 일반적인 최단경로 알고리즘을 적용하는 것이다. 이러한 예로는 금전비용과 통행시간을 모두 고려해야 할 때, 금전비용이나 통행시간을 시간가치이론에 따라 하나의 단위로 환산하는 경우를 들 수 있다. 이에 비해 두 번째 방법은 환산 파라미터 없이 2개 이상의 속성을 동시에 고려해 최단경로보다는 최적경로를 찾는 방법이다. 이러한 기법들의 경우 경제학에서 사용되는 파레토 최적(Pareto Optimum)이론을 적용하여 최적의 경로를 찾게 되는데, 이에 대한 연구로는 Clamaco, et al.(1982), Zhou & Gen(1999) 등이 있다.

③ 마지막으로 최단경로 알고리즘은 링크속성의 시간종속성에 따라 분류할 수 있다. - 만약 링크 비용이 시간대에 따라 변화한다면 최단경로는 동적인 특성을 갖게 되며, 이에 따라 다루어지는 문제의 형태도 동적 교통망문제가 된다. 특히 최근의 연구들에서는 교통망의 통행시간을 확정적(Deterministic)으로 파악하는 대신 불연속적인 속성을 갖거나 연속적인 확률적 과정(Stochastic process)에 의해 결정되는 값으로 가정하는 경우가 많다.

PRT 시스템에 있어서 첫 번째 고려사항으로 통근시간대와 같이 OD 분포가 집중되어 있는 경우, 단일의 최적경로만을 설정하여 다수의 차량을 집중시키어 혼잡을 발생시키는 것보다는 다소 통행비용의 손실이 발생하더라도 다수의 경로로 분산시키는 것이 전체 서비스측면에서는 바람직할 것으로 보인다. 또한, 두 번째 고려사항으로서 PRT 시스템의 통행비용은 통행거리, 통행시간 등의 다수의 기준이 고려되므로 기준치를 환산하거나 파레토 최적 이론을 적용하도록 한다. 세 번째 고려사항으로 통행비용의 기준이 되는 통행시간은 시간종속성을 가지므로 동적 최적경로 탐색 알고리즘이 적합할 것으로 판단된다.

실제 PRT 운행제어 시스템의 구현에 있어서 실시간 제어에 따른 컴퓨팅 및 데이터 교신/처리 관련 하드웨어 시스템이 요구하는 최적 경로탐색 알고리즘의 연산 응답시간(Call-to-Return)에 있어서 시간적 제약이 존재하므로 이를 만족할 수 있는 알고리즘의 설계 및 개발이 필요하다. 즉, PRT 운행제어 시스템이 요구하는 응답시간내에 적정한 경로의 제시가 가능한 최적해 알고리즘 또는 최선해(Best or Heuristic)에 대한 알고리즘의 개발 방향의 설정이 필수적이다.

나. 통행비용 선정의 고려사항

PRT 네트워크 운행을 위한 최적경로 탐색 알고리즘의 입력으로 주어지는 통행비용인 통행거리, 통행시간 중 통행거리는 시스템의 구축에 따라 고정되나, 통행시간은 경로의 통행 상황에 따라 변화하는 시간적으로 변화하는 동적인 요소이다. PRT 시스템의 설계에 따라 링크간 통행시간은 3가지 방법에 의해 구해질 수 있다. 첫 번째로 알고리즘에서 링크로 표현되는 일정 구간의 노선에 대하여 PRT 차량의 통행에 대한 정보가 전혀 없는 경우, 링크의 통행비용은 수학적인 통행비용함수(Travel Cost Function)로 얻어질 수 있다. 두 번째로 궤도 인프라 등에 검지기 등을 설치하여 PRT 차량의 통행을 측정하는 경우, 측정된 과거 통행량을 바탕으로 향후 통행시간을 예측하는 통행시간 예측 알고리즘으로 통행시간을 구할 수 있다. 마지막 세 번째로 PRT 차량과 중앙제어국간에 정보의 교환이 가능한 통신 인프라가 구현된 경우에는 네트워크내의 모든 PRT 차량의 출발 노드 및 목적 노드와 출발시간 정보 등의 최적경로에 필요한 모든 정보를 중앙 제어국이 파악할 수 있으므로 확정된 통행시간을 산정하여 최적경로 탐색 알고리즘에 반영할 수 있다.

<표 3.2.1> 최적경로 탐색 알고리즘을 위한 통행시간 산출 방법

산출 방법	정보 형태	정확도	필요장비
통행비용함수	정보 없음	부정확	없음
통행시간 예측 알고리즘	지상에 설치된 검지기로 차량의 통행시간 측정	다소 부정확	지상검지기
확정된 통행시간값 전송	차량과 지상간의 통신으로 모든 주행경로를 중앙제어국에서 관리	정확	무선장비 중앙제어국

앞서 검토한 최적경로 탐색 알고리즘의 선정 고려사항 및 통행비용 산출 방법의 선정과 더불어 중앙집중제어방식이 아닌 분산제어방식으로 운행제어 시스템을 설계할 경우, 개별적 경로 설정에 따른 교통혼잡의 해소방안을 고려하여야 한다. 즉, 차량단위로 이루어지는 교통통행의 특성상 수요가 많은 OD 구간들에 대해서는 동일 혹은 유사경로에 통행이 집중되는 현상이 발생되며, PRT의 경우에도 특정 알고리즘과 링크 통행비용을 분산된 차량에서 개별적으로 경로를 선정한다면 동일한 현상이 발생된다. 따라서 차량의 통행을 시공간상에 의도적으로 분산시키는 정책이 필요하고 이는 경로탐색 알고리즘과 통행비용 추정 모두에 일관성 있게 반영되어야만 한다.

제3절 네트워크 운행제어 시뮬레이션

1. 운행특성 분석 시뮬레이션

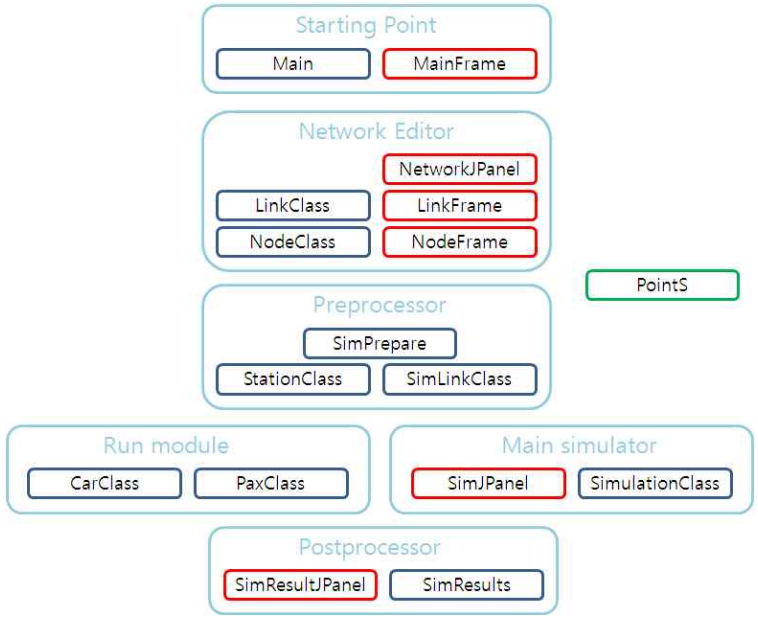
가. 운행특성 분석 시뮬레이션 프로그램 제작

(1) 프로그램 목적 및 기능

본 프로그램은 가상의 4×4 격자망에서의 PRT(Personal Rapid Transit) 운행에 대해 미시적 시뮬레이션을 수행하여 각종 평가지표를 도출하고 PRT 시스템의 실제 적용 가능성을 타진하는 목적으로 개발하였다.

(2) 프로그램 구성

본 프로그램은 전형적인 객체지향 구조를 가지고 설계 되었으며, 16개의 사용 Class와 구동 시작점으로서 한 개의 Main Class로 구성됨. Class들은 편의상 6개의 공통 모듈로 분류함. 즉, 프로그램 구동 시작모듈, 네트워크 구성 및 편집 모듈, 시뮬레이션 전처리 모듈, 시뮬레이션 엔진 모듈, 차량 구동 모듈, 시뮬레이션 후처리의 총 6개의 모듈이 상호 연관된 구조를 가진다. 2차원 실수좌표를 처리하기위해 JDK 정수좌표 Class를 상속한 PointS Class를 별도로 두어 프로그램에서 필요로 하는 모든 좌표의 저장 및 계산을 처리하고 자료의 입출력은 직렬화를 이용한 파일 시스템을 채택하였다.



<그림 3.3.1> 프로그램 구성 Class 및 분류모듈

- 프로그램 구동시작 모듈 (Starting point) : 프로그램의 시작 포인트
- 네트워크 편집 모듈 (Network editor) : PRT 구동을 위한 테스트 네트워크를 구성하고 수정, 편집할 수 있는 기능을 제공
- 시뮬레이션 전처리 모듈 (Preprocessor) : 네트워크 편집모듈에서 건네받은 원시자료를 시뮬레이션 구동이 가능한 형태로 변환함
- 시뮬레이션 엔진 모듈 (Main simulator) : 시뮬레이션 구동을 총지휘하는 모듈
- 차량구동 모듈 (Run module) : 시뮬레이션의 핵심부로서 차량의 진행, 정지, 승객처리, 우회등을 처리하는 모듈
- 시뮬레이션 후처리 (Postprocessor) : 시뮬레이션을 통해 수집된 평가지표 분석 및 결과를 출력

(3) 프로그램 개발환경

본 프로그램은 다음과 같은 환경에서 개발되었다.

- 개발환경: NetBeans IDE 6.9
- 자바: 1.6.0_21; Java HotSpot(TM) Client VM 17.0-b16
- 운영체계: Windows XP version 5.1 running on x86; MS949; ko_KR (nb)

나. 프로그램 구성

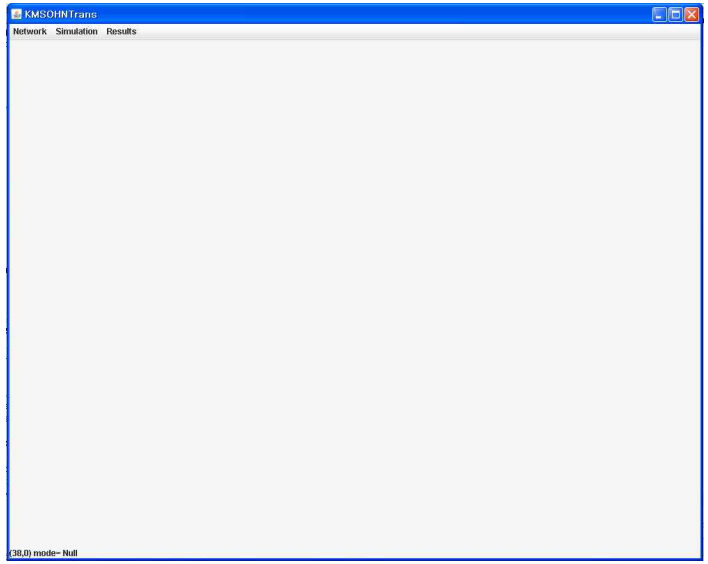
(1) 프로그램 구동 시작 모듈

(가) Main 클래스

MainFrame 클래스의 인스턴스를 생성하여 프로그램을 창을 띄우고 프로그램을 시작한다.

(나) MainFrame 클래스

프로그램 기본 창을 제공하는 클래스로서 메뉴바를 포함하고 네트워크 편집 패널(NetworkJPanel) 과 시뮬레이션 실행 패널(SimJPanel) 두 가지를 선택적으로 표시하는 기능을 포함한다.



<그림 3.3.2> MainFrame 윈도우 창

(2) 네트워크 구성 및 편집 모듈

(가) NodeClass

1) 개요

■ LinkClass와 더불어 PRT 네트워크를 구성하는 기본요소이다.

■ 트랙의 기하구조와 특성을 표현하기 위한 멤버변수들을 포함하고 추가, 삭제 등 사용자편집을 위한 메소드를 제공한다.

2) 상속 또는 구현 클래스

■ Serializable 인터페이스를 구현한다.

3) 멤버변수

■ Private 변수

◦ Number (int) : 노드의 고유번호이다.

◦ Coord (PointS) : 노드의 좌표이다.

◦ type (String) : 노드유형 (“Generic”, “Merge”, “Diverge”), 일반노드, 합류노드, 분기노드를 구분한다.

◦ predecessor (NodeClass) : 최소시간 경로추적 시 해당노드의 선행노드를 저장한다.

◦ Label (double) : 최소시간 경로추적 중 해당 노드에서 루트노드까지 최소시간을 저장한다.

◦ onSeqList (Boolean) : 최소시간 경로추적 중 해당 노드가 시퀀스리스트에 한번이라도 포함된 적이 있음과 없음을 가리는 지시변수이다. 포함된 적이 있으면 true, 그렇지 않으면 false값을 가진다.

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ 일반생성자: NodeClass()

◦ 오버로드 생성자: NodeClass(PointS p, String t) 위치좌표 및 노드 유형을 초기화한다.

■ Public 함수

◦ 캡슐화를 위해 각 Private 변수에 대한 입출력 함수를 기본적으로 제공한다.

- Set변수명(인자)

- Get변수명()

◦ AddList(ArrayList<NodeClass> NodeList) : 인자로 주어진 노드리스트에 해당 노드 인스턴스를 추가한다.

◦ DeleteList(ArrayList<NodeClass> NodeList) : 인자로 주어진 노드리스트에서 해당 노드 인스턴스를 삭제한다.

(나) LinkClass

1) 개요

■ NodeClass와 더불어 PRT 네트워크를 구성하는 기본요소이다.

■ 트랙의 기하구조와 특성을 표현하기 위한 멤버변수들을 포함하고 추가, 삭제 등 사용자편집을 위한 메소드를 제공한다.

2) 상속 또는 구현 클래스

■ Serializable 인터페이스를 구현한다.

3) 멤버변수

■ Private 변수

◦ LinkNumber (int) : 링크의 고유번호이다.

◦ fromNode (NodeClass) : 해당 링크의 시작노드를 저장한다.

◦ toNode (NodeClass) : 해당링크의 끝노드를 저장한다.

◦ type (String) : 링크유형 ("Generic", "Station", "Station app.", "Station egr.", "Depo", "Depo app.", "Depo egr.")을 저장한다. 일반 온라인 링크, 정류장 오프라인 링크, 정류장 접근 오프라인 링크, 정류장 탈출 오프라인 링크, 차량기지 오프라인 링크, 차량기지 접근 오프라인 링크, 차량기지 탈출 오프라인 링크로 구분한다.

◦ center (PointS) : 곡선 링크일 경우, 곡률의 중심점을 저장한다.

◦ radius (double) : 곡선 링크일 경우, 곡률반경을 저장한다.

◦ start (double) : 자바 그래픽 원호그리기를 위한 인자로서 곡선링크 시작 각도를 저장한다.

◦ offset (double) : 자바 그래픽 원호그리기를 위한 인자로서 곡선링크 시작 각도에서 종료 각도까지의 차이 각을 저장한다.

◦ distance (double) : 링크 길이를 저장한다.

◦ StationID (int) : 정류장 링크일 경우, 해당 정류장 ID를 저장한다.

◦ DepoID (int) : 차량기지 링크일 경우, 해당 차량기지 ID를 저장한다.

◦ Berth (int) : 정류장 또는 차량기지 링크일 경우, 차량 대기 버스 수를 저장한다.

■ Public 변수

◦ XPoints (int[]) : 자바 그래픽에서 링크의 방향을 표시하기 위한 화살표 꼭지점 X좌표를 저장한다.

◦ YPoints (int[]) : 자바 그래픽에서 링크의 방향을 표시하기 위한 화살표 꼭지점 Y좌표를 저장한다.

■ Package 변수

◦ isDepo (Boolean) : 해당링크가 오프라인 차량기지 링크이면 true값, 아니면 false값을 가진다.

◦ isDepo_app (Boolean) : 해당링크가 오프라인 차량기지 접근링크이면 true값, 아니면 false값을 가진다.

◦ isDepo_egr (Boolean) : 해당링크가 오프라인 차량기지 탈출링크이면 true값, 아니면 false값을 가진다.

◦ isStation (Boolean) : 해당링크가 오프라인 정류장링크이면 true값, 아니면 false값을 가진다.

◦ isStation_app (Boolean) : 해당링크가 오프라인 정류장 접근링크이면 true값, 아니면 false값을 가진다.

◦ isStation_egr (Boolean) : 해당링크가 오프라인 정류장 탈출링크이면 true값, 아니면 false값을 가진다.

◦ isCounterClock (Boolean) : 해당링크가 곡선일 경우 회전방향이 반시계 방향이면 true값, 시계방향이면 false값을 가진다.

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ 일반 생성자: LinkClass()

◦ 오버로드 생성자: LinkClass(int id, NodeClass fn, NodeClass tn, String tp, double r, Boolean d)

- 곡선링크 생성자이다.
- 인자는 순서대로 링크 고유번호, 시작노드, 끝노드, 링크유형, 곡률반경, 곡선방향(반시계 방향 true, 시계 방향 false)이다.

◦ 오버로드 생성자 LinkClass(int id, NodeClass fn, NodeClass tn, String tp, double di)

- 직선링크 생성자이다.
- 인자는 순서대로 링크 고유번호, 시작노드, 끝노드, 링크유형, 링크길이값이다.

■ Public 함수

◦ 캡슐화를 위해 각 Private 변수에 대한 입출력 함수를 기본적으로 제공한다.

- Set변수명(인자)
- Get변수명()

◦ AddList(ArrayList<LinkClass> LinkList) : 인자로 주어진 링크리스트에 해당 링크 인스턴스를 추가한다.

◦ DeleteList(ArrayList<LinkClass> LinkList) : 인자로 주어진 링크리스트에서 해당 링크 인스턴스를 삭제한다.

◦ setArrowPoints() : 자바 그래픽에서 링크의 방향을 표시하기 위한 화살표 꼭지점 좌표를 계산하는 함수이다.

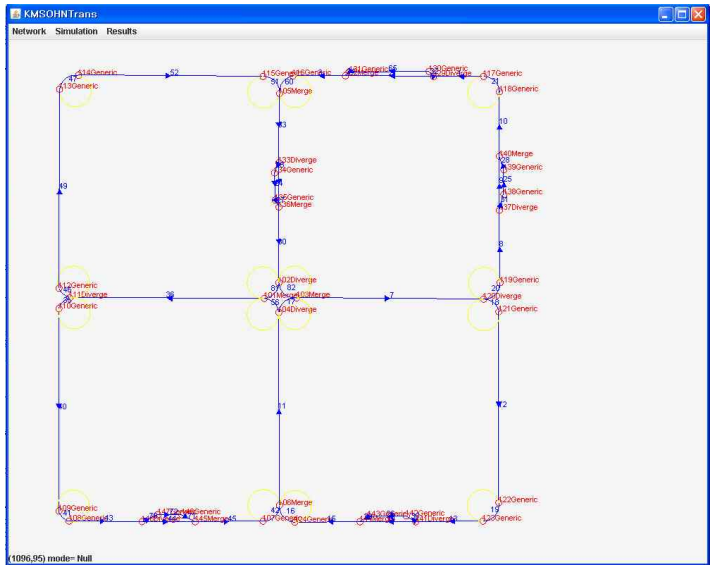
◦ setStartOffset() : 자바 그래픽에서 곡선링크를 나타내는 부채꼴의 시작각과 옾셋(끝각까지의 각도)을 계산하는 함수이다.

■ Private 함수

◦ setCenterPoint()

- 곡선링크에 대해 주어진 곡률과 시종점을 기준으로 곡률 중심점을 구하는 함수이다.
- 구해진 중심점은 자바 그래픽에서 차량의 곡선부 주행을 표현하기 위해 필요한 요소이다.
- 이 함수는 setStartOffset() 함수에서 호출된다.

(다) NetworkJPanel



<그림 3.3.3> NetworkJPanel 화면

1) 개요

■ PRT 네트워크를 생성, 삭제, 편집하는 패널을 제공하는 클래스이다.

2) 상속 또는 구현 클래스

■ 자바 스윙이 제공하는 javax.swing.JPanel로부터 상속된다.

3) 멤버변수

■ Private 변수

◦ imm (Image) : PRT 네트워크의 배경화면을 담는 이미지 변수이다.

◦ NodeList (ArrayList<NodeClass>) : 네트워크를 구성하는 모든 링크를 담고 있는 콜렉션 변수이다.

◦ LinkList (ArrayList<LinkClass>) : 네트워크를 구성하는 모든 노드를 담고 있는 콜렉션 변수이다.

◦ sc (double) : 화면 축소, 확대를 위한 스케일 변수이다.

◦ location (PointS), location2 (PointS), location3 (PointS) : 마우스 포인트를 일시적으로 저장하기 위한 포인트 변수들이다.

◦ Btn (int) : 사용자가 클릭한 마우스 버튼(좌, 우, 중앙)을 구분하기 위한 변수이다.

◦ fromNodePointS (Point), toNodePointS (Point) : 사용자의 마우스 드래그 시작 및 종료 포인트를 담는 변수이다.

■ Public 변수

◦ mode (String)

- 메인 프레임(MainFrame) Network 메뉴바에서 선택된 개별 메뉴를 네트워크 패널(NetworkJPanel)에서 인지하고 구분하기 위한 변수이다.
- "Node_Add", "Node_Edit", "Node_Delete", "Link_Add", "Link_Delete"로 구분된다.
- 현재 모드는 메인 프레임 하단에 위치한 상태바(statusBar)에 항시 표시된다.

◦ statusBar (JLabel)

- 현재 마우스 포인트 좌표와 네트워크 메뉴상태를 표시하기 위한 상태바이다.
- 자바 스윙의 JLabel을 통해 구현된다.
- 메인 프레임의 하단에 위치한다.

■ Package 변수

◦ Node (NodeClass), Link (LinkClass) : 네트워크 편집 시 사용하는 임시 노드, 임시링크의 인스턴스를 처리하기 위한 임시 변수이다.

◦ frmNode (NodeFrame) : 노드 입력을 위한 사용자창(NodeFrame)의 인스턴스 변수이다.

◦ frmLink (LinkFrame) : 링크 입력을 위한 사용자창(LinkFrame)의 인스턴스 변수이다.

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ 일반 생성자 : NetworkJPanel()

- 다음 코드의 괄호안 인자를 변경하면 Prt 네트워크의 배경화면의 변경이 가능하다.

```
imm=Toolkit.getDefaultToolkit().getImage("prt도면2.jpg");
```

- 다음 코드의 괄호안 인자를 변경하면 Prt 네트워크의 네트워크파일(링크노드맵)의 변경이 가능하다.

  FileInputStream fs = new FileInputStream("PRTnode.net");

◦ 오버로드 생성자 : 없음.

■ Private 함수

◦ formMouseWheelMoved(java.awt.event.MouseWheelEvent evt)
- 마우스 휠의 회전에 따라 화면의 확대 축소를 구현하는 함수이다.
- 스케일 변수(sc)의 크기를 증감시켜서 구현된다.
- 마우스 이벤트를 인자로 받는다.

◦ NodeAdd_Delete(Point p, String s)
- 인자로 주어진 포인트 위치에 노드를 추가 또는 주어진 포인트 위치에 존재하는 노드의 삭제를 위한 함수이다.
- 두 번째 인자는 사용자가 선택한 네트워크 모드를 전달한다(추가 또는 삭제).
- 전달된 모드가 "추가"이면 frmNode 창을 띄워서 노드를 노드리스트(콜렉션)에 추가하고, 현 모드가 "삭제"이면 삭제여부를 확인하는 자바 대화상자를 띄운다.

◦ Node_Edit(Point p1, Point p2)
- 노드의 위치를 변경하는 함수이다.
- 두 인자는 사용자의 마우스 드래그로부터 전달 받는 시종점 포인트이다.
- 첫번째 인자는 현재 노드위치를 확인하기 위한 변수로 쓰이고, 두 번째 인자는 첫 번째 인자를 통해 현재 위치가 확인될 경우 새로 옮겨갈 위치를 전달한다.
- 위치가 변경된 노드와 연결되어 있는 링크의 관련속성을 변경하기 위해 해당 링크를 찾은 후 그 링크의 멤버함수들을 차례로 호출한다.[setDistance(dd), setArrowPoints(), setCenter(), setStartOffset()]

◦ LinkAdd_Delete(Point pp1, Point pp2, String s)
- 인자로 주어진 두 포인트 위치에 시종점을 둔 링크를 추가 또는 그 위치에 존재하는 링크를 삭제하는 함수이다.
- 세 번째 인자는 사용자가 선택한 네트워크 모드를 전달한다(추가 또는 삭제).
- 전달된 모드가 "추가"이면 frmLink 창을 띄워서 링크를 링크리스트(콜렉션)에 추가하고, 현 모드가 "삭제"이면 삭제여부를 확인하는 자바 대화상자를 띄운다.

◦ formMouseDragged(java.awt.event.MouseEvent evt)
- 마우스 오른쪽 버튼을 누른 상태에서 화면을 드래그 할 경우, 화면 전체를 마우스가 움직인 거리만큼 이동시키는 기능을 하는 함수이다.
- 마우스 이벤트를 인자로 받는다.

◦ formMousePressed(java.awt.event.MouseEvent evt)
- 마우스 오른쪽 버튼이 눌렸을 경우 화면 드래그를 시작한다.
- 마우스 왼쪽 버튼이 눌렸을 경우 현재 모드의 요구에 따라 해당 함수를 호출한다.
- 두 포인트를 필요로 하는 모드에서는 드래그 시작 포인트를 설정한다.
- 마우스 이벤트를 인자로 받는다.

◦ formMouseMoved(java.awt.event.MouseEvent evt)
- 마우스가 움직일 경우 현재 화면상 마우스 좌표를 네트워크 좌표로 변환하여 저장한다.
- 저장된 네트워크 좌표는 동시에 상태바에 표출된다.
- 마우스 이벤트를 인자로 받는다.

◦ formMouseReleased(java.awt.event.MouseEvent evt)
- 사용자 마우스 드래그가 완료되고 마우스 왼쪽 버튼이 풀리면 현재 모드에 따라 두 포인트를 필요로 하는 함수, 즉 링크 추가,삭제관련 함수 또는 노드 위치이동(편집) 함수를 호출한다.
- 마우스 이벤트를 인자로 받는다.

◦ DrawLinkNode(Graphics2D g)
- NodeList와 LinkList가 포함하고 있는 모든 노드, 링크를 화면에 표출하는 기능을 수행한다.
- 노드는 붉은색으로 고유번호와 노드 유형을 표시한다.
- 링크는 푸른색으로 표시하며 방향을 나타내기 위해 화살표를 표시한다.
- 곡선 링크의 경우 해당 곡률의 원을 노란색으로 표시해 곡률의 크기를 확인할 수 있도록 한다.
- 자바 그래픽 변수를 인자로 받는다.

■ Public 함수

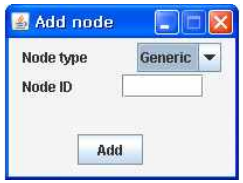
◦ paint(Graphics g) : 상위 클래스 함수를 오버라이드
- 이 함수가 호출되면 우선 화면의 모든 것을 지운다.
- 좌표변환과 스케일 함수를 호출하여 화면 이동과 화면 확대, 축소를 구현한다.
- 배경 이미지 및 네트워크를 표출한다.
- 상태바를 통해 현재 모드와 현재 마우스 포인트의 네트워크좌표를 표출한다.

◦ saveNetwork()

- 현재 화면상의 네트워크(링크노드맵)의 저장기능을 구현한다.
- 다음 코드의 괄호안 인자를 변경하면 저장파일을 바꿀 수 있다.

FileOutputStream fs = new FileOutputStream("sohn.net");

(라) NodeJPanel



<그림 3.3.4> 노드 추가 창

1) 개요

■ 노드를 추가할 경우 띄우는 창을 구현하는 클래스이다.

2) 상속 또는 구현 클래스

■ 자바 스윙이 제공하는 javax.swing.JPanel로부터 상속된다.

3) 멤버변수

■ Private 변수

◦ NL (ArrayList<NodeClass>)

- 노드를 추가할 노드리스트(콜렉션)의 레퍼런스 변수이다.
- 생성자를 통해 해당 레퍼런스를 전달받는다.

◦ pnt (PointS)

- 추가될 노드의 내트워크 좌표를 저장한다.
- setPoint(PointS p)함수를 통해 좌표를 전달받는다.

◦ jLabel1 (javax.swing.JLabe) : "Node type"을 화면에 표시한다.

◦ jComboBox1 (javax.swing.JComboBox) : 노드 유형을 선택하는 콤보박스 ("Generic", "Merge", "Diverge")이다.

◦ jLabel2 (javax.swing.JLabel) : "Node ID"를 화면에 표시한다.

◦ jTextField1 (javax.swing.JTextField) : 노드 고유번호를 입력할 텍스트 박스이다.

◦ jButton1 (javax.swing.JButton) : 생성자에서 건네받은 노드리스트(콜렉션)에 노드를 추가하는 함수를 호출하는 버튼이다.

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ NodeFrame(ArrayList<NodeClass> NodeList)

- 노드리스트(콜렉션)을 인자로 전달받아 클래스 변수(NL)에 저장한다.

■ Private 함수

◦ jButton1MouseClicked(java.awt.event.MouseEvent evt)

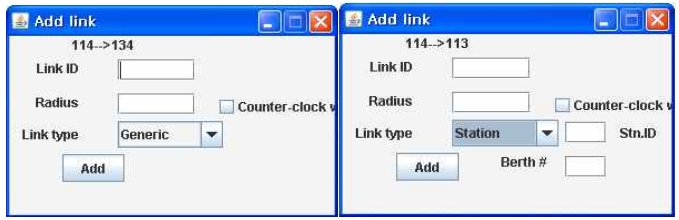
- 우선 추가하려는 노드가 현재 노드리스트에 없음을 확인한다.
- 주어진 노드리스트(콜렉션)에 생성된 노드를 추가하는 기능을 수행한다.

■ Public 함수

◦ setPoint(PointS p)

- 인자로 전달받은 네트워크 좌표를 클래스 변수에 할당한다.
- 추가할 노드의 네크워크 좌표를 외부에서 전달할 수 있도록 한다.

(마) LinkJPanel



(a) 일반링크 추가 (b) 정류장, 차량기지 링크 추가

<그림 3.3.5> 링크 추가창

1) 개요

■ 링크를 추가할 경우 띄우는 창을 구현하는 클래스이다.

2) 상속 또는 구현 클래스

■ 자바 스윙이 제공하는 javax.swing.JPanel로부터 상속된다.

3) 멤버변수

■ Private 변수

◦ LL (ArrayList<LinkClass>)

- 링크를 추가할 링크리스트(콜렉션)의 레퍼런스 변수이다.
- 생성자를 통해 해당 레퍼런스를 전달받는다.

◦ fNode (NodeClass)

- 추가될 링크의 시작노드 레퍼런스를 저장한다.
- setNodes(NodeClass Node1,NodeClass Node2)함수의 Node1을 통해 전달받는다.

◦ tNode (NodeClass)

- 추가될 링크의 끝노드 레퍼런스를 저장한다.
- setNodes(NodeClass Node1,NodeClass Node2)함수의 Node2를 통해 전달받는다.

◦ jLabel1(javax.swing.JLabe) : 추가할 링크의 시작노드와 끝노드의 고유번호를 화면에 표시한다.

◦ jLabel2(javax.swing.JLabe) : "Link ID"를 화면에 표출한다.

◦ jLabel3(javax.swing.JLabe) : "Radius"를 화면에 표출한다.

◦ jLabel4(javax.swing.JLabe) : "Link type"를 화면에 표출한다.

◦ jLabel5(javax.swing.JLabe) : "Stn. ID"를 화면에 표출한다.

◦ jLabel6(javax.swing.JLabe) : "Berth #"를 화면에 표출한다.

◦ jTextField1(javax.swing.JTextField) : 링크 고유번호를 입력할 텍스트 박스이다.

◦ jTextField2(javax.swing.JTextField) : 곡률반경을 입력할 텍스트 박스이다.

◦ jTextField3(javax.swing.JTextField) : 정류장 또는 차량기지 링크일 경우 해당 정류장 또는 차량기지의 고유번호를 입력할 텍스트 박스이다.

◦ jTextField4(javax.swing.JTextField) : 정류장 또는 차량기지 링크일 경우 해당 정류장 또는 차량기지의 차량대기 버스수를 입력할 텍스트 박스이다.

◦ jComboBox1 (javax.swing.JComboBox) : 링크 유형을 고르는 콤보박스 ("Generic", "Station", "Station app.", "Station egr.", "Depo", "Depo app.", "Depo egr.")이다.

◦ jCheckBox1 (javax.swing.JCheckBox) : 곡선링크일 경우 회전방향을 정의하는 체크박스이다(반시계방향일 경우 체크된다).

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ LinkFrame(ArrayList<LinkClass> LinkList)

- 링크리스트(콜렉션)을 인자로 전달받아 클래스 변수(LL)에 저장한다.

■ Private 함수

◦ jButton1MouseClicked(java.awt.event.MouseEvent evt)

- 우선 추가하려는 링크가 현재 링크리스트에 없음을 확인한다.
- 추가하려는 링크의 인스턴스를 생성할 때 곡선링크와 직선링크를 구분해서 생성자를 호출한다.
- 생성된 링크의 필요한 속성을 갖추기 위해 다음 멤버함수들을 차례로 호출한다. [setDistance(dd), setArrowPoints(), setCenter(), setStartOffset()]
- 추가하려는 링크가 정류장링크 또는 차량기지 링크일 경우 해당 고유번호와 대기버스 수를 할당한다.
- 주어진 링크리스트(콜렉션)에 생성된 노드를 추가하는 기능을 수행한다.

◦ jComboBox1ItemStateChanged(java.awt.event.ItemEvent evt)

- 사용자가 추가하려는 링크의 유형에 따라 링크입력창의 모양을 다르게 제공하는 기능을 구현한다.
- 사용자가 정류장 또는 차량기지를 선택하면 그림 3.3.5의 (b)를 표출하고 그렇지 않은 경우는 (a)를 표출한다.

■ Public 함수

◦ setNodes(NodeClass Node1, NodeClass Node2)

- 인자로 전달받은 시작 및 끝 노드의 인스턴스를 클래스 변수에 전달한다.
- 추가할 링크의 시작 및 끝 노드의 인스턴스를 외부에서 전달할 수 있도록 한다.

(3) 시뮬레이션 전처리 모듈

(가) SimLinkClass

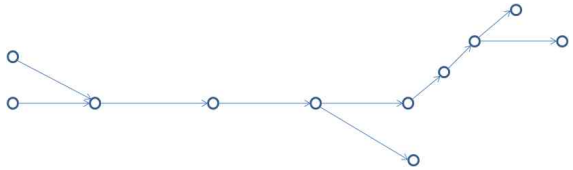
1) 개요

■ 네트워크 모듈에서 구축한 링크노드맵은 사용자 편의를 위해 설계된 형식으로 시뮬레이션 구동에 직접 적용하지 못한다.

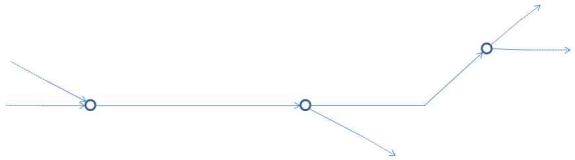
◦ 시뮬레이션용 네트워크는 합류/분류부만을 노드로 설정한다.

◦ 합류/분류노드간을 연결하는 링크들을 하나의 시뮬레이션 링크로 새로 구성한다.

◦ 이렇게 네트워크를 새로 구성하는 이유는 계산의 간편화 뿐 아니라 물리적으로 짧은 링크에서 차량 이동을 처리하는데 무리가 따르기 때문이다.



<그림 3.3.6> 사용자 네트워크



<그림 3.3.7> 시뮬레이션 네트워크

■ 시뮬레이션 용 네트워크를 구축하기 위한 클래스로서 기존 네트워크를 구조화하고 간략화하는 작업뿐 아니라, 정류장 및 차량기지 처리, 시뮬레이션에 필요한 각종 네트워크 토폴로지등을 미리 구축하는 기능을 수행한다.

2) 상속 또는 구현 클래스

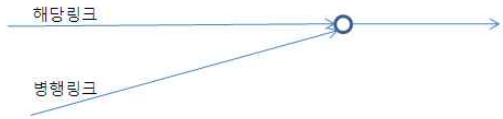
■ 사용자 네트워크의 링크 클래스(LinkClass)를 상속하여 기 설정한 기본 기능을 사용할 수 있도록 한다.

3) 멤버변수

■ Private 변수

◦ distance (double) : 시뮬레이션 링크의 총연장을 저장한다.

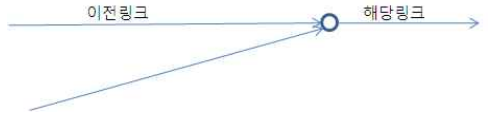
◦ parallel (SimLinkClass)



<그림 3.3.8> 병행링크 개념

- 해당 시뮬레이션 링크와 합류하는 병행 시뮬레이션 링크를 저장한다.
- 합류부에서의 차량 처리를 위해 시뮬레이션 구동 전에 미리 병행 링크를 설정해야 한다.

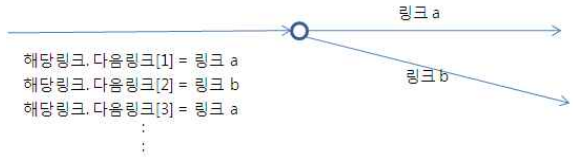
◦ predecessor (SimLinkClass)



<그림 3.3.9> 이전링크 개념

- 현 시뮬레이션 링크를 직진으로 연결하는 이전 시뮬레이션 링크를 저장한다.

◦ nextLink (SimLinkClass[])



<그림 3.3.10> 다음링크 개념

- 현 시뮬레이션 링크와 연결되는 다음 시뮬레이션 링크들을 저장한다.
- 배열 안의 인덱스는 정류장 번호를 가리킨다.
- 예시로서, 해당 링크에서 1번 정류장으로 가기 위해서는 다음링크로 링크 a를 선택해야 하고 2번 정류장으로 가기 위해서는 링크 b를 선택해야 함을 나타낸다.

◦ station (StationClass) : 정류장 링크인 경우, 해당 정류장 객체의 인스턴스를 저장한다.

◦ LinkList (ArrayList<LinkClass>)
- 각 시뮬레이션 링크별로 사용자 링크리스트(콜렉션)을 제공한다.
- 시뮬레이션 링크를 구성하는 다수의 사용자 링크의 집합을 저장한다.

◦ CarList (ArrayList<CarList>)
- 시뮬레이션 구동 시 시뮬레이션 링크 내에 들어있는 차량 객체들을 포함하는 차량리스트(콜렉션)이다.
- 시뮬레이션 구동 시 실시간으로 갱신되는 변수이다.

■ Public 변수

◦ 없음.

■ Package 변수

◦ 없음.

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ SimLinkClass() : 기능 없음.

■ Private 함수

◦ 없음.

■ Public 함수

◦ setNextLinkDimension(int n)
- 정류장 및 차량기지 개수만큼 nextLink 변수의 차원을 설정하는 함수이다.
- 전달 인자는 배열 차원수이다.

◦ setNextLink0(SimLinkClass S, int n)
- 공차 배회 시 적용할 디폴트 다음링크를 설정하는 함수이다.
- 직진 링크를 첫 번째 인자(S)로 받아 디폴트로 설정한다.
- 두 번째 전달 인자는 배열 차원수이다.

◦ AssignNextLink(NodeClass Node, ArrayList<SimLinkClass> SLinkList, int n)
- 현 시뮬레이션 링크의 다음링크를 설정하는 함수이다.

- 첫 번째 인자는 노드 객체로서 설정할 다음링크의 끝 노드를 가리킨다.
- 전체 시뮬레이션 링크 리스트(콜렉션)을 두 번째 인자로 받아 검색할 수 있도록 한다.
- 세 번째 인자는 설정하려는 다음링크가 향하는 정류장 고유번호이다.

◦ double getDistance() : 시뮬레이션 링크 길이를 반환한다.

◦ ArrayList<LinkClass> getLinkList() : 시뮬레이션 링크 소속 사용자링크 리스트(콜렉션)를 반환한다.

◦ addLink(LinkClass Link) : 사용자 링크리스트(콜렉션)에 인자로 받은 링크를 추가한다.

◦ deleteLink(LinkClass Link) : 사용자 링크리스트(콜렉션)에서 인자로 받은 링크를 삭제한다.

◦ ArrayList<CarClass> getCarList() : 현 시뮬레이션 링크가 가지고 있는 차량리스트(콜렉션)을 반환한다.

◦ AddCar(CarClass car) : 현 시뮬레이션 링크가 가지고 있는 차량리스트(콜렉션)에 인자로 받은 차량 객체를 추가한다.

◦ setParallel(SimLinkClass SL) : 인자로 받은 시뮬레이션 링크를 현 시뮬레이션 링크의 병행링크로 설정한다.

◦ SimLinkClass getParallel() : 현 시뮬레이션 링크의 병행링크를 반환한다.

◦ setPredecessor(SimLinkClass SL) : 인자로 받은 시뮬레이션 링크를 현 시뮬레이션 링크의 이전링크로 설정한다.

◦ SimLinkClass getPredecessor() : 현 시뮬레이션 링크의 이전링크를 반환한다.

◦ StationClass getStation() : 현 시뮬레이션 링크가 정류장일 경우 소속 정류장 객체를 반환한다.

◦ setStation(StationClass Stn) : 인자로 받은 정류장 객체를 현 시뮬레이션 링크의 정류장 객체로 설정한다.

◦ SimLinkClass[] getNextLink() : 다음링크 배열을 반환한다.

◦ setNextLink(SimLinkClass[] nl) : 멤버함수 AssignNextLink()와 달리 다음링크 배열을 직접 설정한다.

(나) StationClass

1) 개요

■ 정류장 및 차량기지를 나타내는 클래스이다.

■ 승객발생 및 승객에 차량할당등 정류장에서 일어나는 이벤트를 처리한다.

2) 상속 또는 구현 클래스

■ 없음.

3) 멤버변수

■ Private 변수

◦ stationNumber (int) : 정류장 또는 차량기지 고유번호를 저장한다.

◦ NoBerth (int) : 정류장 또는 차량기지에 차량 대기버스 수를 저장한다.

◦ SLink (SimLinkClass) : 정류장이 속한 시뮬레이션 링크 객체이다.

◦ Type (STring) : 정류장 유형 (“Station″ 또는 ”Depo″)이다.

◦ firstBerthPosition (double)

- 차량대기공간에서 맨 앞 berth의 위치이다.

- 소속링크 끝점에서부터의 거리로 표시된다.

◦ lastBerthPosition (double)

- 차량대기공간에서 맨 앞 berth의 위치이다.

- 소속링크 끝점에서부터의 거리로 표시된다.

◦ noPax (int) : 정류장에 대기하는 승객수를 저장하는 변수이다.

◦ paxArrTime (double)

- 시뮬레이션 시작 시점을 기준으로 PRT 승차를 위해 새로 승객이 정류장으로 유입될 때마다 그 시각을 기록하는 변수이다.

- 시뮬레이션이 진행되면서 계속 갱신되는 값이다.

◦ PaxList (ArrayList<PaxClass>) : PRT 승차를 위해 정류장으로 유입된 승객 객체를 계속 누적시켜 저장하는 승객리스트이다.

◦ endPaxList (ArrayList<PaxClass>) : PRT를 이용해 정류장에 도착해 하차한 승객객체를 누적시켜 저장하는 승객리스트이다.

■ Public 변수

◦ Xpoints (int[]) : 정류장의 승강장을 자바 그래픽 회면에 표시하기 위해 필요한 점들의 x좌표값을 저장한다.

◦ Ypoints (int[]) : 정류장의 승강장을 자바 그래픽 회면에 표시하기 위해 필요한 점들의 y좌표값을 저장한다.

■ Package 변수

◦ 없음.

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ 일반 생성자 : StationClass()

◦ 오버로드 생성자 : StationClass(int ID, int berth, SimLinkClass SL, String tp)

- 생성된 정류장 객체를 전달받은 인자들을 통해 초기화한다.

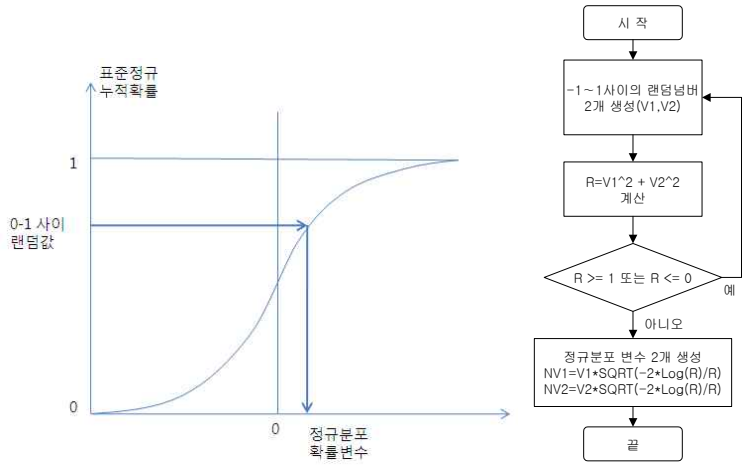
- 첫 번째 인자부터 정류장 고유번호, 대기버스 수, 소속 시뮬레이션 링크, 정류장 유형(“Station″ 또는 ”Depo″)을 나타낸다.

■ Private 함수

◦ double normalBoardTime()

- 승객의 승하차 시간은 정규분포에 따른다고 가정하므로 이를 구하기 위한 표준정규 변수를 생성하는 함수이다.

- Box-Muller 방법 : 표준 정규분포에 따르는 랜덤변수 추출법이다.



<그림 3.3.11> Box-Muller 개념 및 알고리즘

◦ setStationPoints()

- 정류장의 승강장을 자바 그래픽 회면에 표시하기 위해 필요한 점들의 좌표값을 계산하는 함수이다.

■ Public 함수

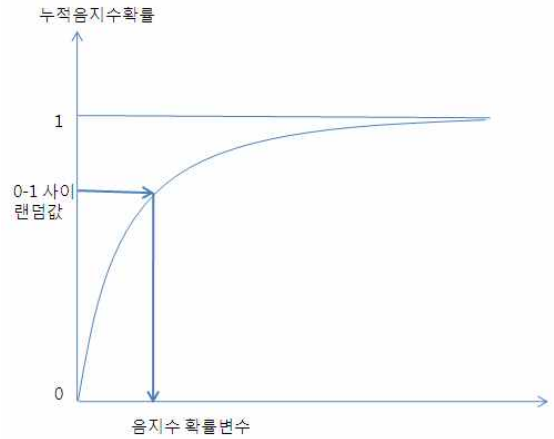
◦ PaxGeneration(double simTime, int[][] OD, ArrayList<StationClass> StationList)

- PRT 승차를 위해 정류장에 도착하는 승객 패턴을 구현한다.
- 승객도착 시간간격은 음지수 분포에 따른다고 가정한다.

$$P(h<t)=1-e^{-t/T} : \text{누적 음지수분포} \qquad (3.3.1)$$

T : 평균도착간격(초) h : 도착간격

- 생성된 승객 객체에 목적지 정류장을 배정한다.
- 목적지 배정은 인자로 넘겨받은 정류장간 기종점 통행량을 통해 몬테카를로 시뮬레이션 방식을 이용해 도착지 수요 비율에 따라 산정한다.
- 마지막으로 normalBoardTime() 함수를 호출하여 표준 정규계수를 구하고 이를 통해 생성된 승객 객체의 출발지 정류장 승차시간과 도착지 정류장 하차시간을 할당한다(승객 클래스의 정적 변수로 저장된 평균 승하차 시간과 표준편차를 이용).
- 첫 번째 인자에서부터 현재의 시뮬레이션시각, 정류장간 기종점 통행량, 전체 정류장 리스트(콜렉션)을 전달한다.



<그림 3.3.12> 누적 음지수 분포 및 음지수확률변수 도출 구조

◦ assignPaxToCar(Double simTime)

- 정류장이 소속되어 있는 시뮬레이션 링크가 가지고 있는 차량리스트(콜렉션)에서 대기 차량이 있는지 검색하여 대기 중인 승객과 연결시키는 기능을 수행한다.

◦ double getPaxArrTime() : 시뮬레이션 시각을 기준으로 마지막으로 승객이 객체가 생성된 시각을 반환한다.

◦ int getStationNumber() : 정류장 고유번호를 반환한다.

◦ int getNoBerth() : 정류장의 대기버스수를 반환한다.

◦ SimLinkClass getLink() : 현 정류장이 소속되어 있는 시뮬레이션 링크를 반환한다.

◦ String getType() : 정류장 유형을 반환한다.

◦ double getFirstBerthPosition() : 최전방 대기 berth의 위치를 반환한다.

◦ double getLastBerthPosition() : 최후방 대기 berth의 위치를 반환한다.

◦ setEndPaxList(PaxClass pax) : 해당 정류장에 도착하여 통행을 끝마친 승객 객체를 endPaxList에 추가한다.

◦ ArrayList<PaxClass> getEndPaxList() : 해당 정류장에 도착하여 통행을 끝마친 승객 객체들의 리스트(콜렉션)을 반환한다.

◦ ArrayList<PaxClass> getPaxList() : 출발을 위해 해당 정류장에 도착한 승객 객체의 누적 리스트(콜렉션)을 반환한다.

◦ long getNoPax() : 현재 정류장에서 승차대기 중인 승객수를 반환한다.

(다) SimPrepare

1) 개요

■ 시뮬레이션 구동에 앞서 필요한 전처리를 담당한다.

■ 사용자 네트워크를 시뮬레이션 네트워크로 변환한다.

■ 정류장, 차량기지간 최적 경로추적을 위해 각 정류장, 차량기지 별로 가상의 센트로이드를 설정한다.

2) 상속 또는 구현 클래스

■ 없음.

3) 멤버변수

■ Private 변수

◦ NodeList (ArrayList<NodeClass>) : 사용자 네트워크를 구성하는 모든 노드 객체로 구성된 리스트(콜렉션)이다.

◦ LinkList (ArrayList<LinkClass>) : 사용자 네트워크를 구성하는 모든 링크 객체로 구성된 리스트(콜렉션)이다.

◦ SLinkList (ArrayList<SimLinkClass>) : 시뮬레이션 네트워크를 구성하는 모든 시뮬레이션 링크 객체로 구성된 리스트(콜렉션)이다.

◦ StationList (ArrayList<StationClass>) : 모든 정류장 객체로 구성된 리스트(콜렉션)이다.

◦ DepoList (ArrayList<StationClass>) : 모든 차량기지 객체(정류장 객체로 표현되고 유형변수만 상이함)로 구성된 리스트(콜렉션)이다.

■ Public 변수

◦ OD (int[][]) : 정류장간 기종점 통행수요를 담는 배열변수이다.

■ Package 변수

◦ 없음.

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ 일반 생성자 : SimPrepare()

- 저장된 네트워크 파일을 읽어서 사용자 링크, 노드를 생성한 후 멤버 변수 NodeList와 LinkList를 구성한다.
- 다음 코드의 괄호 안을 수정하면 네트워크 파일을 변경할 수 있다.

FileInputStream fs = new FileInputStream("sohn.net");

■ Private 함수

◦ readOD()

- 정류장간 기종점 통행수요를 읽어서 배열변수 OD에 담는 함수이다.
- 다음 코드의 괄호 안을 수정하면 OD 파일을 변경할 수 있다.

File myFile = new File("sohn.od");

- OD 파일은 정류장 개수를 기준으로 테이블 형식으로 입력받으며 숫자는 콤마로 분리하면 된다.

```
0,100,100,100
100,0,100,100
100,100,0,100
100,100,100,0
```

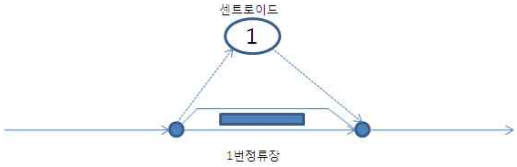
<그림 3.3.13> 4개 정류장일 경우 OD 입력 예시

◦ reduceNoOfLinks()

- 사용자 네트워크를 시뮬레이션 네트워크로 축소시키는 기능을 수행한다.
- 합분류부만 시뮬레이션 노드로 처리한다.
- 합분류부를 연결하는 사용자 링크를 통합하여 하나의 시뮬레이션 링크를 구성한다.

◦ makeCentroid()

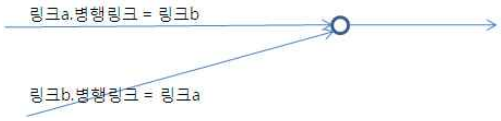
- 정류장, 차량기지간 최적 경로추적을 위해서 각 정류장, 차량기지 별로 가상의 센트로이드를 설정한다.



<그림 3.3.14> 가상 센트로이드

◦ deriveMergePararellPredecessor()

- 합류부 상류링크에 대해 상호 병행링크를 설정한다.



<그림 3.3.15> 병행링크 설정

- 분류부 하류링크에 대해 이전링크를 설정한다.

◦ makeStations_nextLink()

- 각 정류장, 차량기지에 대해 자신이 포함되어 있는 시뮬레이션 링크를 찾아서 설정한다.
- 각 시뮬레이션 링크에 대해 공차 배회시 적용할 직진 우선 다음 링크를 설정한다.

■ Public 함수

◦ run()

- 상기한 5개의 private 함수를 외부에서 한 번에 정해진 순서대로 호출할 수 있도록 한다.

[reduceNoOfLinks() -> makeCentroid() -> deriveMergePararellPredecessor() -> makeStations_nextLink()->readOD()]

◦ ArrayList<NodeClass> getNodeList() : 전체 사용자 노드리스트를 반환한다.

◦ ArrayList<LinkClass> getLinkList() : 전체 사용자 링크 리스트를 반환한다.

◦ ArrayList<SimLinkClass> getSimLinkList() : 전체 시뮬레이션 링크 리스트를 반환한다.

◦ ArrayList<StationClass> getStationList() : 전체 정류장 리스트를 반환한다.

5) 내부 클래스

■ 사용자 링크리스트(콜랙션) 및 시뮬레이션 링크리스트(콜랙션)의 내부 객체들을 정렬하기 위해 필요한 내부 클래스를 설정한다.

■ 두 가지 내부 클래스를 선언하고 비교자(Comparator) 인터페이스를 구현한다.

◦ fromNodeCompare implements Comparator<LinkClass>

◦ SimLinkCompare implements Comparator<SimLinkClass>

(4) 시뮬레이션 엔진 모듈

(가) SimJPanelClass

1) 개요

■ PRT 시뮬레이션을 중앙 제어하는 기능과 애니메이션을 위한 화면 패널을 제공하는 기능을 담당한다.

■ 시뮬레이션 시계를 설정하고 이 시계를 진행시키면서 단위 순간마다 시뮬레이션 상태를 갱신하는 시간구동(time-driven)방식의 시뮬레이션 기법을 채택한다.

2) 상속 또는 구현 클래스

■ 자바 스윙의 JPanel 클래스를 상속한다.

■ 시뮬레이션 실행을 메인 프로그램과 구분하기 위한 별도 쓰레드(Thread) 설정을 위해 Runnable 인터페이스를 구현한다.

3) 멤버변수

■ Private 변수

◦ thread (Thread) : 시뮬레이션 실행을 위한 별도 쓰레드 객체이다.

◦ imm (Image) : 배경화면을 저장할 이미지 변수이다.

◦ NodeList (ArrayList<NodeClass>) : 사용자 네트워크를 구성하는 모든 노드 객체로 구성된 리스트(콜렉션)이다.

◦ SLinkList (ArrayList<SimLinkClass>) : 사용자 네트워크를 구성하는 모든 시뮬레이션 링크객체로 구성된 리스트(콜렉션)이다.

◦ StationList (ArrayList<StationClass>) : 모든 정류장 객체로 구성된 리스트(콜렉션)이다.

◦ OD (int[][]) : 정류장간 기종점 통행수요를 담는 배열변수이다.

◦ simTime (double) : 시뮬레이션 시각으로 시뮬레이션이 구동되면 0부터 시작해서 SimulatioClass.period까지SimulatioClass.interval 단위로 증가한다.

◦ sim (SimulationClass) : SimulationClass 객체 인스턴스로서 매 시뮬레이션 시간 간격에 실행해야 할 함수를 호출하는데 쓰인다.

◦ sc (double) : 화면 축소, 확대를 위한 스케일 변수이다.

◦ location (PointS), location2 (PointS), location3 (PointS) : 마우스 포인트를 일시적으로 저장하기 위한 포인트 변수들이다.

◦ Btn (int) : 사용자가 클릭한 마우스 버튼(좌, 우, 중앙)을 구분하기 위한 변수이다.

■ Public 변수

◦ statusBar (JLabel) : 시뮬레이션 화면 하단에 시뮬레이션 시각을 표시하기 위한 상태바이다.

■ Package 변수

◦ 없음.

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ SimJPanel(SimPrepare SP)

- Simprepare 객체를 인자로 전달받아 시뮬레이션에 필요한 사전요소를 설정하고 마찬가지로 SimulationClass 객체를 생성하여 초기화한다.
- 시뮬레이션 구동에 적용하기 위해 새로운 쓰레드를 생성하고 시작시킨다.

■ Private 함수

◦ formMouseWheelMoved(java.awt.event.MouseWheelEvent evt) : NetworkJPanel 클래스에서와 같은 기능을 처리한다.

◦ formMouseMoved(java.awt.event.MouseEvent evt) : NetworkJPanel 클래스에서와 같은 기능을 처리한다.

◦ formMouseDragged(java.awt.event.MouseEvent evt) : NetworkJPanel 클래스에서와 같은 기능을 처리한다.

◦ formMousePressed(java.awt.event.MouseEvent evt) : NetworkJPanel 클래스에서와 같은 기능을 처리한다.

◦ DrawLinkNodeStation(Graphics2D g)

- 애니메이션을 위해 시뮬레이션 네트워크를 화면에 표출하는 기능을 수행한다.
- 자바 그래픽 변수를 인자로 받는다.

◦ DrawCar(Graphics2D g)

- 네트워크 상에서 진행중인 차량을 화면에 표출하는데 차량의 상태에 따라 색상을 달리하여 표현한다.
- 차량상태가 정류장에서 "Boarding"이면 노란색으로 표시한다.
- 차량상태가 정류장에서 "Alighting"이면 빨간색으로 표시한다.
- 차량상태가 정류장 또는 차량기지에서 "Alighting_Moving", "Moving", "Waiting"이면 하늘색으로 표시한다.
- 차량상태가 "Moving_onLine"이면 검정색으로 표시한다.
- 자바 그래픽 변수를 인자로 받는다.

◦ DrawOutput(Graphics2D g)

- 차량 및 정류장의 현재 또는 누적된 운행상태를 화면에 표시한다.
- 자바 그래픽 변수를 인자로 받는다.

■ Public 함수

◦ run()

- 쓰레드가 제어권을 반환받을 때마다 자동으로 실행되는 함수로서 Runnable 인터페이스로 인해 반드시 구현해야 하는 함수이다.
- SimulationClass 객체(Sim)를 이용해 실제 실행될 함수와 연결한다.
- 이때 인자로 현 패널과, 쓰레드, 시뮬레이션 시각을 전달한다.

◦ paint(Graphics g) : 상위 클래스 함수를 오버라이드한다.

- 이 함수가 호출되면 우선 화면의 모든 것을 지운다.
- 좌표변환과 스케일 함수를 호출하여 화면 이동과 화면 확대, 축소를 구현한다.
- 배경 이미지 및 네트워크를 표출한다.
- 상태바를 통해 현재 시뮬레이션 시각을 표출한다.

(나) SimulationClass

1) 개요

■ 시뮬레이션 실행 시 매 시간간격에 수행해야 할 작업 단위를 설정하고 제어하는 클래스이다.

■ 시뮬레이션 실행과 관련된 환경 및 상태 변수를 정적 변수로 설정하여 조정 가능케 한다.

2) 상속 또는 구현 클래스

■ 없음.

3) 멤버변수

■ 정적(Static) 변수

◦ 정적변수를 변경하면 시뮬레이션 환경 및 상태를 바꿀 수 있다.

◦ interval (double) : 시뮬레이션의 상태갱신 시간간격을 초단위로 설정한다(디폴트 0.1초).

◦ period (double) : 시뮬레이션 구동시간을 초단위로 설정한다.

◦ CalMinPathTime (double)

- 최적경로는 네트워크의 교통상태에 따라 변화할 수 있으므로 이를 반영하기 위해서는 일정 시간간격에 따라 최적경로를 재설정해야 한다.
- 최적경로를 재설정하는 시간간격을 설정하는 변수이다.

◦ delay (int)

- 시뮬레이션 속도를 조절하는 변수이다.
- 0에 1,000까지 설정가능하고 숫자가 작을수록 빨라진다.

■ Private 변수

◦ NodeList (ArrayList<NodeClass>) : 사용자 네트워크를 구성하는 모든 노드 객체로 구성된 리스트(콜렉션)이다.

◦ SLinkList (ArrayList<SimLinkClass>) : 사용자 네트워크를 구성하는 모든 시뮬레이션 링크객체로 구성된 리스트(콜렉션)이다.

◦ StationList (ArrayList<StationClass>) : 모든 정류장 객체로 구성된 리스트(콜렉션)이다.

◦ OD (int[][]) : 정류장간 기종점 통행수요를 담는 배열변수이다.

■ Public 변수

◦ 없음.

■ Package 변수

◦ 없음.

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ SimulationClass(SimPrepare SP)

- SimPrepare 클래스의 객체를 전달받아 객체내의 환경변수들을 SimulationClass 객체의 초기화에 적용한다.
- 즉, SimulationClass 객체를 만들기 위해서는 SimPrepare 클래스의 객체를 먼저 생성하고 필요한 메소드들을 호출하여 준비를 끝낸 후 그 객체를 인자로 SimulationClass의 생성자를 호출하는 방법을 사용하였다.

■ Private 함수

◦ MinPath(SimLinkClass root)

- Label correcting algorithm을 이용하여 최단시간 또는 최단거리 경로를 탐색하는 함수이다.
- 인자로 건네받은 root는 출발 정류장이 소속되어 있는 시뮬레이션 링크로서 이 root를 기준으로 다른 모든 정류장으로 가는 최적경로를 탐색한다.
- 경로 탐색의 결과는 각 노드의 이전노드(predecessor)를 설정하는 형식으로 저장되며 각 노드의 최종 Label은 root에서 그 노드까지의 최단시간 또는 거리를 저장한다.
- Sequence List를 통해 탐색할 노드 배열을 설정하고 이 리스트에 탐색 노드를

넣고 빼면서 모든 가능성을 탐색할 때까지, 즉, 리스트가 비워질 때까지 탐색을 계속한다.

```
algorithm First-In-First-Out(FIFO) label-correcting;
begin
    d(s) := 0 and pred(s) := 0; d(j) := ∞ for each node j ≠ s;
    Seq. LIST = {s};
    while LIST ≠ ∅ do
    begin
        remove the first element from Seq. LIST;
        for each arc (i, j) ∈A(i) do
        if d(j) > d(i) + c_ij then
        begin
            d(j) := d(i) + c_ij; pred(j) := i;
            if j ∉LIST then append j to the end of
                Seq. LIST;
        end;
    end;
end;
```

<그림 3.3.16> Label correcting algorithm

◦ CalCoord(ArrayList<SimLinkClass> SLinkList)

- 차량의 위치추적은 빠른 계산과 간편한 위치갱신을 위해 시뮬레이션 시 링크좌표를 사용한다.
- 즉, 차량의 위치를 소속 시뮬레이션 링크와 그 링크 시작점에서부터 차량이 위치한 점까지의 거리(Offset)로 설정한다.
- 시뮬레이션 링크는 여러 개의 사용자 링크로 구성되며 소속링크는 직선 또는 곡선링크일 수 있으므로 자바 그래픽 표출을 위해서는 유니버설 좌표(2차원 좌표)로 변환해야 한다.
- 시뮬레이션 시계를 돌리면서 매 시간간격마다 시뮬레이션 네트워크 안에 있는 모든 차량의 현 위치를 유니버설 좌표(2차원 좌표)로 계산하는 기능을 수행하는 함수이다.

■ Public 함수

◦ run(SimJPanel JP, Thread th, double simTime)

- 매 시간간격에 시뮬레이션 구동을 실제 책임지고 있는 함수이다.
- 시뮬레이션 화면 객체와 함수가 실행될 쓰레드(Thread), 그리고 현재의 시뮬레이션 시각을 인자로 건네받는다.
- 이 함수는 전체 프로그램의 메인 쓰레드와 별도의 쓰레드로 구동되어야 하므로 두 번째 인자로 쓰레드 객체를 전달받는다.
- 각 시뮬레이션 링크의 소속 차량들의 상태를 갱신하는 작업을 수행한다.
- 일반링크, 정류장, 차량기지, 합류/분류부에 대해 서로 다른 차량 이동행태를 반영하기 위해 별도의 차량진행 함수를 호출한다.
- 건네받은 시뮬레이션 시각이 경로탐색 갱신 시각과 일치하면 각 정류장을 root로 MinPath() 함수를 호출하여 최적경로를 갱신한다.

(5) 차량구동 모듈

(가) PaxClass

1) 개요

■ 승객의 속성 및 행태를 구현하기 위한 클래스이다.

■ 승객특성 중 일부는 사용자가 조정이 가능하도록 정적변수로 설정하였다.

2) 상속 또는 구현 클래스

■ 없음.

3) 멤버변수

■ 정적(Static) 변수

◦ aveBoardTime (double) : 승객의 평균 승차 소요시간(초)이다.

◦ stdBoardTime (double) : 승차시간에 대한 표준편차이다.

◦ aveAlightTime (double) : 하객의 평균 승차 소요시간(초)이다.

◦ stdAlightTime (double) : 하차시간에 대한 표준편차이다.

■ Private 변수

◦ origin (StationClass) : 승객의 출발 정류장을 나타낸다.

◦ destination (StationClass) : 승객의 도착정류장을 나타낸다.

◦ arrTime (double) : PRT 승차를 위해 승객이 출발정류장에 도착한 시각이다.

◦ stnArrTime (double) : 승객을 태운 차량이 PRT 통행을 마치고 도착 정류장에 도착한 시각이다.

◦ boardTime (double) : 출발정류장에서 승차 프로세스에 소요된 시간이다.

◦ alightTime (double) : 도착정류장에서 하차 프로세스에 소요된 시간이다.

◦ endTime (double) : 승객이 PRT 통행을 마치고 도착 정류장에 도착하여 하차 프로세스까지 완전히 마친 시각이다.

◦ departureTime (double) : 출발정류장에서 승객을 태운 차량이 도착정류장을 향해 출발한 시각이다.

◦ departed (Boolean) : 이미 차량 배정을 받고 떠난 승객일 경우 true값을 가지며, 차량배정이 안되고 아직 기다리는 승객일 경우 false값을 가진다.

■ Public 변수

◦ 없음.

■ Package 변수

◦ 없음.

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ PaxClass() : 일반 생성자

- 승객이 생성되면 대기승객으로 departed = false로 초기화된다.

■ Private 함수

◦ 없음.

■ Public 함수

◦ setOrigin(StationClass o) : 주어진 인자로 승객의 출발 정류장 객체를 설정한다.

◦ StationClass getOrigin() : 승객의 출발 정류장 객체를 반환한다.

◦ setDestination(StationClass d) : 주어진 인자로 승객의 도착 정류장 객체를 설정한다.

◦ StationClass getDestination() : 승객의 도착 정류장 객체를 반환한다.

◦ setArrTime(double t) : 주어진 인자로 PRT 승차를 위해 승객이 출발정류장에 도착한 시각을 설정한다.

◦ double getArrTime() : PRT 승차를 위해 승객이 출발정류장에 도착한 시각를 반환한다.

◦ setStnArrTime(double t) : 주어진 인자로 승객을 태운 차량이 PRT 통행을 마치고 도착 정류장에 도착한 시각을 설정한다.

◦ double getStnArrTime() : 승객을 태운 차량이 PRT 통행을 마치고 도착 정류장에 도착한 시각을 반환한다.

◦ setBoardTime(double t) : 주어진 인자로 승객의 승차소요시간을 설정한다.

◦ double getBoardTime() : 승객의 승차소요시간을 반환한다.

◦ setDeparted(Boolean t) : 주어진 인자로 승객상태를 설정한다.[기출발(true), 대기(false)]

◦ Boolean getDeparted() : 승객상태를 반환한다.

◦ setAlightTime(double t) : 주어진 인자로 승객의 하차소요시간을 설정한다.

◦ double getAlightTime() : 승객의 하차소요시간을 반환한다.

◦ setEndTime(double t) : 주어진 인자로 승객이 하차 프로세스를 끝내고 완전히 통행을 마친 시각을 설정한다.

◦ double getEndTime() : 승객이 하차 프로세스를 끝내고 완전히 통행을 마친 시각을 반환한다.

◦ setDepartureTime(double t) : 주어진 인자로 승객이 승차 프로세스를 마치고 도착 정류장을 향해 출발한 시각을 설정한다.

◦ double getDepartureTime() : 승객이 승차 프로세스를 마치고 도착 정류장을 향해 출발한 시각을 반환한다.

(나) CarClass

1) 개요

■ 시뮬레이션에 필요한 모든 차량 속성과 차량의 진행 및 정류장 거동을 모사하는 기능을 포함하는 클래스이다.

■ 다양한 상황에 맞도록 run() 함수를 오버로드하여 설정한다.

■ 차량특성 중 일부는 사용자가 조정이 가능하도록 정적변수로 설정하였다.

2) 상속 또는 구현 클래스

■ 없음.

3) 멤버변수

■ 정적(Static) 변수

◦ CarLength (double) : 차량길이 (m)값을 가진다.

◦ maxSpeed (double) : 차량 상용최고속도 (m/s)값을 가진다.

◦ crawlSpeed (double) : 정류장에서 위치 이동 속도 (m/s)값을 가진다.

◦ comAcc (double) : 상용 가속도 (m/s^2)값을 가진다.

◦ comDec (double) : 상용 감속도 (m/s^2)값을 가진다.

◦ carfollower (double) : 자유류와 추종류를 가르는 거리 한계 (m)이다.

◦ syncdist (double) : 합류부에서 준동기식 제어 적용거리 (m)이다.

◦ par1 (double) : 차량추종모형의 제1 파라메터 (α)이다.

◦ par2 (double) : 차량추종모형의 제2 파라메터 (β)이다.

◦ no (int) : 차량 생성 시 부여하는 고유번호이다.

■ Private 변수

◦ sLink (SimLinkClass) : 차량이 현재 속해 있는 시뮬레이션 링크이다.

◦ position (double) : 소속 시뮬레이션 링크 시작점에서부터 차량이 현재 위치한 지점까지의 거리이다.

◦ speed (double) : 차량의 현재 속도이다.

◦ acc (double) : 차량의 현재 가속도이다.

◦ currentBerth (int) : 정류장에 들어 있는 차량일 경우 현재 위치한 대기 berth의 번호이다.

◦ Origin (StationClass) : 차량의 소속 승객의 최초 출발 정류장 객체이다.

◦ Destination (StationClass) : 차량의 소속 승객의 최종 도착 정류장 객체이다.

◦ status (String) : 차량의 현재 상태를 나타낸다.

- Waiting : 정류장 대기버스에서 승객을 기다리는 상태이다.

- Boarding : 정류장 대기버스에서 승객을 태우고 있는 상태이다.

- Alighting : 정류장 대기버스에서 승객이 내리고 있는 상태이다.

- Alighting_Moving : 승객을 태우고 정류장에 도착한 후 승객을 내려주기 위해 적당한 대기버스를 찾아 이동중인 상태이다.

- Moving : 정류장 대기구간에서 대기버스간을 전진 이동중인 상태이다.

- Moving_onLine : 온라인 궤도를 주행 중인 상태이다.

◦ Pax (PaxClass) : 차량에 승객이 있을 경우 그 승객 객체를 배정하며, 없을 경우 null 배정한다.

◦ startTime (double) : 승객을 태우고 출발 정류장을 출발한 시각이다.

◦ endTime (double) : 승객을 태우고 도착 정류장에 도착한 시각이다.

◦ point (PointS) : 차량의 위치를 자바 그래픽으로 표출하기 위한 유니버설 좌표(2차원 좌표)로 변환할 경우 이를 저장할 변수이다.

■ Public 변수

◦ 없음.

■ Package 변수

◦ 없음.

4) 멤버함수

■ 생성자

◦ CarClass() : 일반 생성자

- 차량이 생성될 때 고유번호를 부여한다.

■ Private 함수

◦ finishCar(double simTime, StationClass Stn)

- 승객을 실은 차량 통행이 종료되면 호출되는 함수이다.

- 차량의 승객변수를 제거하여 공차로 만들고 하차한 승객 객체에 통행 종료시간을 부여한다.

■ Public 함수

◦ 차량 진행 유형에 따라 4가지의 move()함수를 오버로드하여 설정한다.

◦ move(int ndx, SimLinkClass SL, SimLinkClass NL)

- 일반 링크에서 진행중인 차량과 정류장 대기공간에서 빠져나온 차량을 대상으로 한 이동함수이다.
- 자유류 상태에서는 상용최고속도까지 상용가속을 적용하고 차량간 간섭이 있는 경우 차량추종모형을 적용한다.
- 자유류 상태와 추종상태의 경계 거리(CarClass.carfollower)를 충분히 크게 설정하면 기본적으로 차량 진행은 다음과 같은 차량추종이론에 따른 비동기 방식을 적용한다.

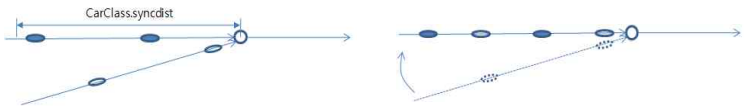
$$a_{n+1}(t+\Delta t) = \frac{\alpha}{(x_n(t) - x_{n+1}(t))^{\beta}} \times (v_n(t) - v_{n+1}(t)) \qquad (3.3.2)$$

$a_{n+1}(t+\Delta t)$: 후행차량 가속도 α : 제1 파라메터

β : 제2 파라메터 $x_n(t)$: 선행차량 위치 $x_{n+1}(t)$: 후행차량 위치

$v_n(t)$: 선행차량 속도 $v_{n+1}(t)$: 후행차량 속도

- 합류부에서는 합류 이전 링크들에 대해 합류지점으로부터 CarClass.syncdist 만큼 거리에 대해서 준 동기식 제어를 적용한다.



(a) 실제 운행상태 (b) 가상의 준동기식 제어상태

<그림 3.3.17> 합류부 차량진행 예시

- 첫 번째 인자는 진행 대상 차량이 소속된 시뮬레이션 링크에서 몇 번 째로 소속되었는지 순번을 전달한다.
- 두 번째 인자는 진행 대상 차량의 소속 시뮬레이션 링크를 전달한다.
- 세 번째 인자는 진행 차량의 목적지로 향하는 다음 시뮬레이션 링크를 전달한다.
- 선두 차량을 진행시키려면 다음 링크의 마지막 차량과의 위치관계를 고려해야 하며 계산된 이동거리가 소속 시뮬레이션 링크의 길이를 초과하면 다음 링크로 차량을 건네주어야 한다.

◦ move(int ndx, SimLinkClass SL, double simTime)
- 정류장 대기공간으로 진입하려는 차량의 진행을 담당하는 함수이다.
- 첫 번째 인자는 진행 대상 차량이 소속된 시뮬레이션 링크에서 몇 번 째로 소속되었는지 순번을 전달한다.
- 두 번째 인자는 진행 대상 차량의 소속 시뮬레이션 링크를 전달한다.
- 세 번째 인자는 시뮬레이션 시각을 전달하는데, 승객을 실은 차량이 대기공간에 도착하여 하차프로세스를 시작할 때 finishCar() 함수를 호출하기 위한 인자로 필요하다.

◦ move(int ndx, SimLinkClass SL, StationClass Stn,
double simTime, ArrayList<StationClass> StationList)
- 정류장 대기공간에서 차량의 거동을 담당하는 함수이다.
- 차량이동과 동시에 차량의 상태변수를 설정하는 기능을 수행한다.
- 첫 번째 인자는 진행 대상 차량이 소속된 시뮬레이션 링크에서 몇 번 째로 소속되었는지 순번을 전달한다.
- 두 번째 인자는 진행 대상 차량의 소속 시뮬레이션 링크를 전달한다.
- 세 번째 인자는 해당 정류장 객체를 건네준다.
- 네 번째 인자는 시뮬레이션 시각을 전달하는데, 승객을 실은 차량이 대기공간에 도착하여 하차프로세스를 시작할 때 finishCar() 함수를 호출하기 위한 인자로 필요하다.

◦ move(int ndx, SimLinkClass SLink)
- 차량기지에서의 차량 이동을 담당하는 함수이다.
- 첫 번째 인자는 진행 대상 차량이 소속된 시뮬레이션 링크에서 몇 번 째로 소속되었는지 순번을 전달한다.
- 두 번째 인자는 진행 대상 차량의 소속 시뮬레이션 링크를 전달한다.

◦ int getNo() : 차량 고유번호를 반환한다.

◦ setSLinkPosition(SimLinkClass LL, double pos)
- 차량의 위치를 소속 시뮬레이션 링크에 대해 설정한다.
- 첫 번째 인자로 받은 시뮬레이션 링크로 소속링크를 설정하고 두 번째 인자로 시점으로부터 거리를 설정한다.

◦ SimLinkClass getSLink() : 차량의 소속 시뮬레이션 링크를 반환한다.

◦ double getPosition() : 차량의 현재 위치를 소속링크의 시점으로부터의 거리로 반환한다.

◦ StationClass getOrigin() : 차량의 승객이 있을 경우 출발 정류장 객체를 반환한다.

◦ setOrigin(StationClass o) : 차량의 승객이 있을 경우 출발 정류장 객체를 설정한다.

◦ StationClass getDestination() : 차량의 도착 정류장 객체를 반환한다.

◦ setDestination(StationClass d) : 차량의 도착 정류장 객체를 설정한다.

◦ PaxClass getPax() : 차량의 소속 승객 객체를 반환하며, 공차일 경우 null을 반환한다.

◦ setPax(PaxClass p, Double simTime)

- 첫 번째 인자로 차량에 승객을 배정한다.
- 두 번째 인자로 받은 현재 시뮬레이션 시각과 승차소요시간을 더하여 차량의 출발시간을 설정한다.

◦ double getSpeed() : 차량의 현 속도를 반환한다.

◦ setSpeed(double d) : 차량 속도를 설정한다.

◦ double getAcc() : 차량의 현 가속도를 반환한다.

◦ String getStatus() : 차량의 현 상태(status)를 반환한다.

◦ setStatus(String s) : 차량의 상태(status)를 설정한다.

◦ double getStartTime() : 차량 출발시간을 반환한다.

◦ setStartTime(double s) : 차량 출발시간을 설정한다.

◦ setCurrentBerth(int s) : 차량이 정류장 대기공간에 있을 때 적용하는 함수로서 주어진 인자로 대기버스 번호를 설정한다.

◦ int getCurrentBerth() : 차량이 정류장 대기공간에 있을 때 대기버스 번호를 반환한다.

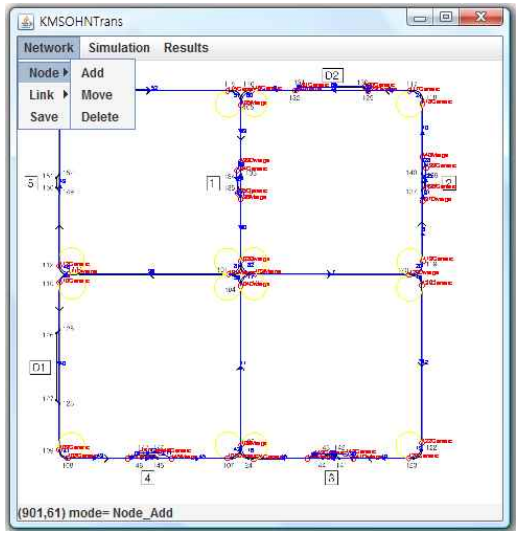
◦ PointS getPoint() : 차량의 현재 2차원 좌표 위치를 반환한다.

◦ setPoint(PointS p) : 차량의 위치를 2차원 좌표로 설정한다.

다. 메뉴설명

(1) Network 메뉴

1) Node 메뉴

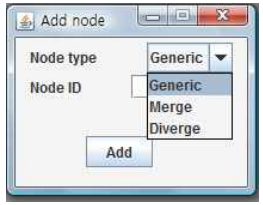


<그림 3.3.18> Node 메뉴 예시

■ 노드 Add 메뉴

◦ Add 메뉴를 선택하면 화면 하단 상태바에 현재 모드가 노드 추가임을 나타내는 정보가 표시된다.

◦ 이 상태에서 마우스를 생성할 노드 위치에 갖다놓고 마우스 왼쪽 버튼을 클릭하면 다음과 같은 노드 추가 창이 나타난다.



<그림 3.3.19> Node 추가창

◦ 노드 추가창에서 노드 고유번호와 노드 유형을 고르고 추가 버튼을 클릭하면 의도한 위치에 노드가 생성된다.

■ 노드 Move 메뉴

◦ Move 메뉴를 선택하면 화면 하단 상태바에 현재 모드가 노드 편집임을 나타내는 정보가 표시된다.

◦ 기 존재하는 노드 위치에 마우스를 갖다 대고 왼쪽버튼을 눌러 드래그 하면서 옮기고자 하는 타깃 위치에서 버튼을 풀면 자동으로 노드위치가 변경되고 더불어 관련된 모든 링크 정보가 변경된다.

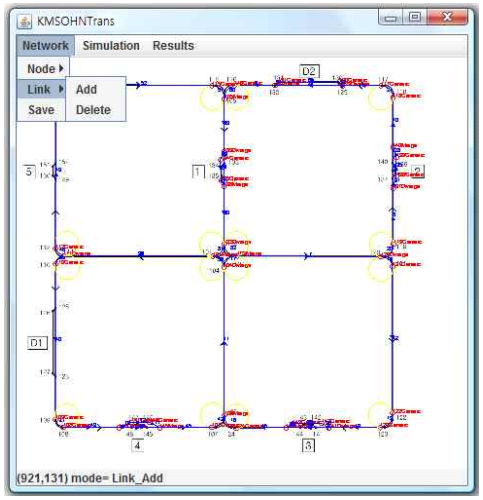
■ 노드 Delete 메뉴

◦ Delete 메뉴를 선택하면 화면 하단 상태바에 현재 모드가 노드 삭제임을 나타내는 정보가 표시된다.

◦ 기 존재하는 노드 위치에 마우스를 위치시키고 왼쪽 버튼을 누르면 노드 삭제를 확인하는 창이 뜨고 이를 수락하면 노드가 삭제된다.

◦ 하나의 링크라도 삭제하고자 하는 노드와 연결이 되어 있으면 삭제가 불가능하다.

2) 링크 메뉴

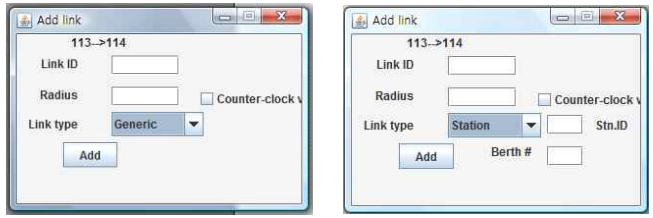


<그림 3.3.20> 링크 메뉴 예시

■ 링크 Add 메뉴

◦ 링크 Add 메뉴를 선택하면 화면 하단 상태바에 현재 모드가 링크 추가임을 나타내는 정보가 표시된다.

◦ 마우스 왼쪽 버튼은 이용해 추가하고자 하는 링크의 시작 노드와 끝 노드를 드래그하면 다음과 같은 링크추가 창이 나타난다.



(a) 일반링크 선택 (b) 정류장 또는 차량기지 선택

<그림 3.3.21> 링크 추가창

◦ 링크 추가창에서 링크 고유번호와 링크 유형을 선택한다.

◦ 곡선 링크일 경우 곡률반경과 회전방향을 선택한다.

◦ 정류장 또는 차량기지 일 경우 정류장 또는 차량기지 고유번호와 차량대기버스수를 입력한다.

◦ 정류장 번호는 빠짐없는 일련번호이어야 하며 차량기지 번호는 반드시 정류장번호 다음번호로 설정해야 한다.

◦ 추가 버튼을 클릭하면 링크가 생성된다.

■ 링크 Delete 메뉴

◦ 링크 Delete 메뉴를 선택하면 화면 하단 상태바에 현재 모드가 링크 삭제임을 나타내는 정보가 표시된다.

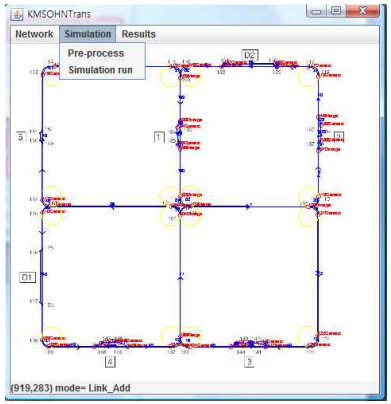
◦ 기 존재하는 링크의 시작노드와 끝 노드를 마우스 왼쪽 버튼으로 드래그하면 링크 삭제를 확인하는 창이 뜨고 이를 수락하면 링크가 삭제된다.

3) Save 메뉴

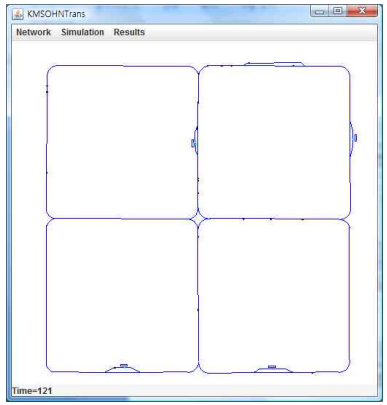
◦ 화면상의 네트워크가 파일로 저장된다.

◦ 파일 이름은 코드에서 변경가능하다.

(2) Simulation 메뉴



<그림 3.3.22> Simulation 메뉴 예시



<그림 3.3.23> Simulation 화면

1) Pre-process 메뉴

■ Simulation run 메뉴 구동 이전에 반드시 선행되어야 한다.

2) Simulation run 메뉴

■ Simulation run 메뉴를 클릭하면 화면이 그림 3.3.23과 같은 애니메이션 화면으로 바뀌면서 시뮬레이션이 시행된다.

(3) Results 메뉴

■ 시뮬레이션이 끝나고 나면 시행이 가능하며 시뮬레이션 결과를 표출한다.

(4) 기본화면 조작 기능

■ 마우스 볼을 회전하면 전체 화면을 확대/축소할 수 있다.

■ 마우스 오른쪽 버튼을 누른 상태에서 마우스를 이동시키면 화면 전체를 이동시킬 수 있다.

2. 시스템 인터페이스 분석 시뮬레이션

가. 시스템 인터페이스 시뮬레이션 프로그램 제작

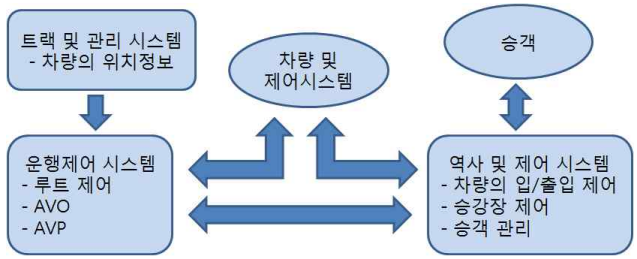
(1) 목적

본 과제를 통해 구현된 시뮬레이터는 PRT 시스템의 실용화 시에 수행되는 시스템의 경제성 평가와 기본 설계 시에 필요한 역사규모, 위치, 소요차량대수를 산정하는 툴(tool)의 기능을 수행할 수 있도록 개발되었다. 또한 시스템의 성능 즉 headway(승객 수송 능력), 승객의 평균 여행속도, 에너지 사용, 예외상황 발생 시 시스템 복구능력, 역사 및 승강장 규모의 평가와 차량 운전제어, 공차관리, 역사관리 등 운행제어 및 관리 알고리즘의 분석을 위함이다. 시뮬레이터는 기본적으로 차량의 움직임을 모의하며, 차량의 가이드웨이 상에서 주행 및 역사 내의 승강장에서의 움직임이 모의된다. 또한 역사 내에서는 승객의 승차나 하차도 모의 된다. 역사 내에 공차가 있으면 승객이 탑승하고 공차가 없으면 승객은 대기한다. 반대로 공차는 존재하나 승객이 없으면 공차가 승강장에서 대기한다. 승객은 시스템의 수송수요에 의해서 불규칙적으로 역사에 출현한다. 고객만족 측면에서는 승객이 역사에 출현하면 언제나 대기시간 없이 바로 차량에 탑승하여 목적지로 갈 수 있으면 가장 바람직하다. 그러나 이것은 가능하지 않을 수도 있고 혹은 역사의 규모를 늘리거나 혹은 차량의 수를 늘려서 가능하여 질수도 있다. 물론 초기 투자비용은 증대될 것이다. 여기서 각 역사별 수송수요, 이용 가능한 차량대수, 역사규모 등이 투자비용과 맞물려 서로의 함수가 되어 있다. 또한 동일한 인프라와 차량을 갖고도 어떻게 차량을 운용할 것인지에 따라 결과는 크게 달라진다. 예를 들면 역사에 승객이 대기하고 있을 때 어디에 있는 공차를 배차할 것인지? 공차 수요를 미리 예측하여 배차할 수는 없는지? 이러한 운영알고리즘 최적화에 따라서 수송수요 처리 능력은 크게 달라진다. 본 시뮬레이터는 어떠한 시스템이 최적화 시스템인지? 어떠한 운영 알고리즘이 적절한지?

검토를 위한 툴(tool)을 제공한다. 본 시뮬레이터에서는 역사의 규모, 차량 대수, 공차관리 방법 등을 변경해 가면서 시스템의 수송능력 평가가 가능하다. PRT 시스템에서 수송능력은 단순히 어느 가이드웨이를 차량이 시간당 몇 대 통과하느냐의 문제가 아니다. PRT 시스템에서는 정해진 노선이 없으며 차량은 필요시 최적경로를 찾아서 출발지 역사에서 목적지 역사로 무정차로 주행한다. 따라서, PRT 시스템에서의 수송능력이란 승객이 역사에 출현하여 탑승할 때까지의 대기시간을 기준으로 하는 것이 타당하다고 판단된다. 물론 차량의 평균주행속도도 수송수요에 영향을 미치지만 주행속도가 늦어지면 공차나 승객탑승차량의 역사 도착시간도 늦어져서 결국은 승객의 대기시간의 증가로 나타난다.

(2) 시뮬레이터의 구성

시뮬레이터는 그림 3.3.24와 같이 ① 노선(트랙), ② 차량, ③ 승객, ④ 역사, ⑤ 중앙운행제어시스템의 5개의 서브시스템으로 구성되어 있다. 운행제어시스템은 중앙에 위치한 제어시스템을 의미하며 여기서 루트제어, AVO(Automatic Vehicle Operation), AVT(Automatic Vehicle Protection)등을 담당한다. AVO, AVP는 APM(Automatic People Mover) 시스템의 ATO 및 ATP에 해당된다. 역사 및 역사제어시스템은 역사의 승강장 관리 및 승객의 출현 및 퇴장 등을 관리하는 시스템을 의미한다. 차량이 승강장에서의 출발을 허가하고 승강장으로의 도착을 허가하는 일을 한다. 또한 승객의 승하차를 위해서 출입문의 개폐 제어를 한다. 승객이 역사에 도착하여 티켓을 구매하면 역사의 대기승객 명단에 기록하고 승강장에 대기 차량이 있을 경우 승객의 탑승을 허가한다. 만일 대기 차량이 없을 경우 중앙 제어시스템에 공차의 배차를 요구한다. 중앙제어시스템은 각 역사로부터의 배차요구에 응하여 각 역사의 대기 승객 수 및 대기시간에 따라 우선순위를 부여하여 배차한다. 각 역사마다 승강장의 수는 다를 수 있다. 이는 사용자의 입력 자료이다. 모의되는 승강장은 일렬로 배치되는 소위 "Single Platform on a Siding with One Entrance" 타입이다. 마치 택시 승강장처럼 승객을 태운 차량이나 빈 차량이나 동일한 입구로 들어와 동일한 플랫폼에 정차한다. 차량 및 차량제어시스템은 중앙의 운행제어 시스템에서 제시한 속도 및 가속도, 저크로 운전한다. 또한 트랙관리시스템을 통하여 차량의 실시간 위치를 중앙제어시스템에 통보한다. 역사 내에서는 역사 관리시스템의 관리하에 승강장 내에서의 이동, 승객의 승하차, 역사 대기 등을 수행한다. 트랙 관리시스템은 트랙 내에서의 차량의 위치를 감지하여 차량 위치정보를 중앙 운행제어시스템에 통보한다. 승객은 사용자가 입력하는 수송수요 OD(Origination and Destination)에 의하여 해당 역사에서 불규칙하게 출현한다.

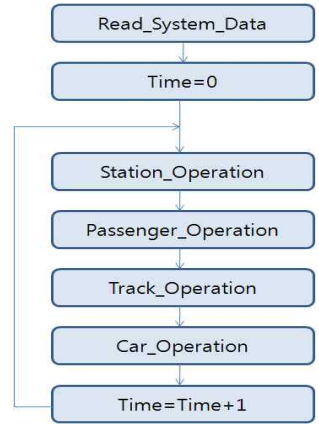


<그림 3.3.24> 시뮬레이터의 구성

PRT 노선은 2차원적으로 모의된다. 따라서 위치는 x y 좌표로 표시된다. 노선은 트랙으로 세분된다. 트랙은 노드(Node)와 노드를 연결하는 구분 노선이며 반드시 직선이 아니고 곡선일 수도 있다. 노드는 병합지점(Merge Point), 분기지점(Diverge Point), 역사 및 제한속도를 달리하는 노선상의 지점을 의미한다.

(3) 시뮬레이션 수행

시뮬레이션은 그림 3.3.25의 순서로 수행된다. 역사운전(Station_Operation)에서는 중앙제어컴퓨터 지시에 의한 공차의 배차, 역사 내 차량의 이동, 승객의 탑승, 하차 등이 수행된다. 승객운전(Passenger_Operation)에서는 승객 수송수요에 의해서 승객의 역사 출현이 수행된다. 트랙운전(Track_Operation)이란 각 트랙 내의 혹은 트랙 사이 차량의 리더-펄로우어(Leader-Follower) 관계의 설정을 의미한다. 본 시뮬레이터에서 차량의 주행제어는 비동기식 방법에 의해 제어되며 비동기식 제어 방식에서는 기본적으로 차량이 리더 차량을 쫓아가므로 차량의 주행제어를 위해서는 차량 상호간의 리더-펄로우어 설정이 중요하다. 차량운전(Car_Operation)에서는 모든 트랙 내 차량의 주행을 수행한다. 모든 차량은 리더 차량과의 안전거리를 유지하고 주어진 최대 기동파라메타 내에서 가능한 한 최고의 속도로 주행하도록 제어된다. 시뮬레이터에서는 또한 모든 차량이 중앙제어컴퓨터에서 제시되는 기동 파라메타 즉 저크(jerk)에 의해 운전되며 차량과 중앙제어컴퓨터는 실시간으로 정보를 교신하며 이 정보교신 및 차량 운전 반응은 레이턴시(Latency) 시간 내에서 이루어진다.

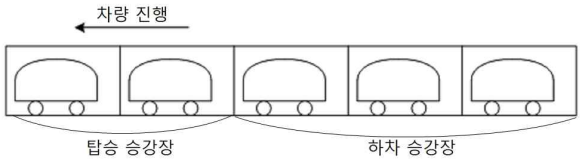


<그림 3.3.25> 시뮬레이션 수행 흐름도

나. 구성 시스템별 운전 알고리즘

(1) 역사 운전(Station_Operation)

역사의 승강장(berth)은 기본적으로 직렬 일렬 승강장 형태로 모의되며 출구 및 입구가 별도로 구분되는 타입(Single-platform on a siding with two entrances)으로 모의하였다. 그림 3.3.26은 이와 같은 형태의 승강장 개념을 보여주는 데 앞의(그림 3.3.26의 좌측)의 2개 승강장에서는 탑승, 뒤의(그림 3.3.26의 우측) 3개의 승강장에서는 하차만 가능하다. 즉 승차 승강장, 하차 승강장이 구별되어 있다. 승객의 탑승, 하차, 승강장 내에서의 차량의 이동은 역사 제어 시스템에 의해 수행되며 각각의 수행시간은 각각의 타이머로 사용자에 의해 설정된다. 즉 사용자는 탑승 타이머, 하차타이머, 차량 이동 타이머를 설정할 수 있다. 따라서 다른 타입의 승강장 형태의 시뮬레이션은 이 타이머에 의해 간접적 방법으로 역사 승객처리 능력이 모의 될 수 있다. 사용자는 또한 탑승용 승강장의 수나 하차용 승강장의 수를 설정함으로써 역사 규모를 선정한다.



<그림 3.3.26> 직렬 일렬 승강장 개념도

역사의 속성 및 화면 표시는 그림 3.3.27과 같다. 역사 속성의 의미는 다음과 같다.

- id : 역사의 고유번호
- wperson_no : 대기 승객 수
- wcar_no : 진입 대기 차량 수
- sum_wperson_no : 대기승객 수의 누적 값, 즉 매 타임스텝 마다 대기승객을 누적한 값이며, 이 값을 시뮬레이션 시간으로 나누면 그 역사의 평균 대기승객 값이 된다.
- sum_wcar_no : 진입대기 차량 수의 누적 값, 즉 매 타임스텝 마다 진입대기 차량 수를 누적한 값이며, 이 값을 시뮬레이션 시간으로 나누면 해당 역사의 평균 진입대기 차량 수가 된다.
- berth_no : 역사의 승강장 수이며 그림 3.3.27에서 역사 7은 11개의 승강장을 가지고 있다.
- boarding_berth : 승차용 승강장 수를 의미하며 그림 3.3.27에서 역사 7은 2개의 승차용 승강장을 가지고 있다.
- no_passenger_leave : 역사에서 출발한 승객 수
- no_car_leave : 역사에서 출발한 차량 수
- no_passenger_enter : 역사에 출현한 승객 수
- no_passenger_arrive : PRT로 이 역사에 도착한 승객 수
- no_car_arrive : 이 역사에 도착한 차량 수
- icar_no : 시뮬레이션 초기에 역사에 배치된 차량 수
- car_request_no : 역사에서 공차를 call한 숫자, 이 값은 공차를 call할 때마다 1씩 증가하고, call한 공차가 도착할 때마다 1씩 감소한다.
- total_loop_car_running : 트랙 내에 존재하는 loop car의 수이며 이 값은 중앙제어컴퓨터에서 제공받는다. 만약 이 값이 0 과 같거나 0 보다 작으면 비록 대기승객이 있더라도 loop_car를 call하지 않는다.
- ave_passenger_wtime : 이 역사에 출현한 승객의 역사 도착시간부터 차량탑승시작 시간까지의 평균 대기시간
- ave_car_wtime : 역사에 진입하고자 하는 차량의 평균대기 시간
- ave_wperson_no : 평균 역사 대기승객 수
- ave_wcar_no : 평균 역사진입 대기차량 수
- need_loop_car : boolean 값으로 (대기승객 수 - 공 차량 수 - loop_car call 수) > 0 경우, True가 됨

◦ berth : 승강장 배열(1차)로서 배열의 값은 승강장 내에 있는 차량의 id를 가리킴. 차량이 없을 경우, -1 값을 갖는다.

◦ wperson : 대기승객을 나타내는 배열(1차)로서 배열 값은 승객의 id이며 승객이 없을 시는 -1 값을 갖는다.

◦ wcar : 진입대기 차량을 나타내는 배열(1차)로서 배열 값은 차량의 id이며 차량이 없을 시는 -1 값을 갖는다.



<그림 3.3.27> 화면 상의 역사 모델 및 역사 속성

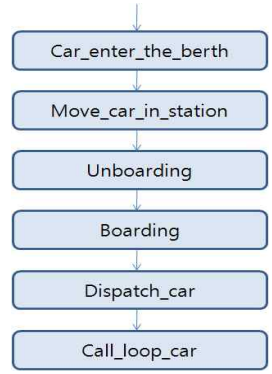
차량의 상태는 차량 속성인 모드로 표현된다. 역사 내 차량의 모드는 표 2-1과 같다. 차량이 역사에 도착하면 일단 역사 진입 대기 차량 리스트에 등록된다(active=0, mode='i'). 역사 승강장을 모두 차량이 점유하고 있어서 더 이상 차량 진입이 불가할 경우에 대비하여 역사 진입대기 차량이 머무를 수 있는 대기 장소(input queue)가 있으며 맨 뒤 승강장이 비게 되면 즉시 순서대로 진입한다. 이 후 차량이 승객을 태우고 역사를 출발하는 과정은 그림 3.3.28에서 'Dispatch_car'까지와 같이 진행된다. 프로시저 'Car_enter_the _berth' 에서는 맨 마지막 승강장의 점유를 검토하고 비워져 있으면 맨 마지막 승강장으로 진입한다. 물론 맨 마지막 승강장까지 차량이 이동하는 시간은 Move_timer를 설정하여 제어한다. 다음 프로시저 'Move_car_in_station'에서는 역사 내의 각 승강장을 검토하여 바로 앞의 승강장이 비워있으면 차량은 앞의 승강장으로 이동

한다(그림 3.3.29 참조). 물론 하차 승강장에서 승차 승강장으로 이동할 때는 승객이 하차하였는가를 검토하여 승객이 하차하지 않았으면 승객 하차 후에 이동한다. 즉 하차 승강장에서 승차 승강장으로 이동할 때는 차량 내 승객이 없어야 한다. 또한 승객이 탑승 혹은 하차 중이면 이동하지 않는다. 차량 이동이 종료된 후 차량의 모드는 'w'(wait, 대기)로 바뀐다. 다음 프로시저 'Unboarding'에서는 하차 승강장내 차량을 검토하여 모드가 'w'이고 차량 내 승객이 있는 경우 승객을 하차시킨다(그림 3.3.30). 이때 모드는 'u'로 바뀌며 승객 하차에 필요한 시간은 하차_타이머(Unboard_timer)에 설정된다. 승객 하차가 완료되면 모드는 다시 'w'로 바뀐다. 다음 프로시저 'Boarding'에서는 승강장에 모드가 'w'이고 승객이 탑승하지 않은 차량이 있는가를 검토한다. 이러한 차량이 존재하고 또한 역사 대기승객이 있는 경우 승객을 차량에 탑승시킨다. 이때 모드는 'b'로 바뀌고 탑승에 필요한 시간 승차_타이머(Boarding_timer)가 설정된다. 승객 탑승이 완료되면, 즉 승차_타이머가 0이 되면 차량의 모드는 다시 'w'로 바뀐다(그림 3.3.31 참조). 다음 프로시저 'Dispatch_car'에서는 맨 앞의 승강장의 차량을 검토하여 모드가 'w'이고 승객이 탑승하여 있으면 차량을 출발시킨다. 차량의 출발은 차량 속성 'active'를 True로 설정하고 차량의 위치를 맨 처음 트랙의 위치에서 '0'으로 설정함으로서 이루어진다(그림 3.3.32 참조). 차량 속성 'active'가 True가 되면 중앙제어컴퓨터에서 차량주행제어를 하게 된다. 다음 프로시저 'Call_loop_car'에서는 역사에 공차는 없는데 대기승객이 있을 경우 중앙제어컴퓨터에 공차의 배차를 요구한다. 루프카(Loop_car)란 일정한 목적지 없이 일정한 루프를 돌고 있는 공차를 의미한다(그림 3.3.33 참조). 알고리즘에서 공차가 call을 한 역사에 도착할 때 마다 loop_car_call_no가 1씩 감소한다. 위에서 설명된 진행이 화면에서 나타나는 모습은 다음과 같다. 그림 3.3.34에서는 승객 49가 역사 10에 출현하여 대기하고 있다. 역사 내에는 차량이 없다. 시간이 흐른 후 차량 20이 도착하였다(그림 3.3.35 참조). 화면에서 차량 그림에 색깔이 채워져 있으면 승객이 탑승하고 있음을 나타내고 비워져 있으면 승객이 없음을 의미한다. 그림 3.3.36에서 차량 20 그림에는 색깔이 채워져 있으므로 승객이 타고 있음을 보여준다. 차량이 역사에 도착하면 일단 진입 대기 장소로 진입한다. 여기서 진입대기명단에 등록한다. 역사제어 컴퓨터는 하차용 승강장을 검토한 후 하차용 승강장이 비워 있으면 승강장으로 진입을 지시한다. 그림 3.3.36 및 3.3.37에서 차량 20이 하차용 승강장 맨 앞까지 진입하는 모습을 보여준다. 또한 속성 창을 보면 차량 20의 mode가 그림 3.3.36에서는 'm'이므로 차량 20이 아직도 역사 내 승강장에서 이동 중임을 나타낸다. 그림 3.3.37에서는 차량 모드가 'u'이므로 차량 20이 승객을 하차시키고 있음을 보여준다. 또한 Unboarding Timer가 3이므로 승객이 아직도 하차 중임을 보여준다. Unboarding Timer가 0이 되면 승객하차가 완료되었음을 가리킨다.

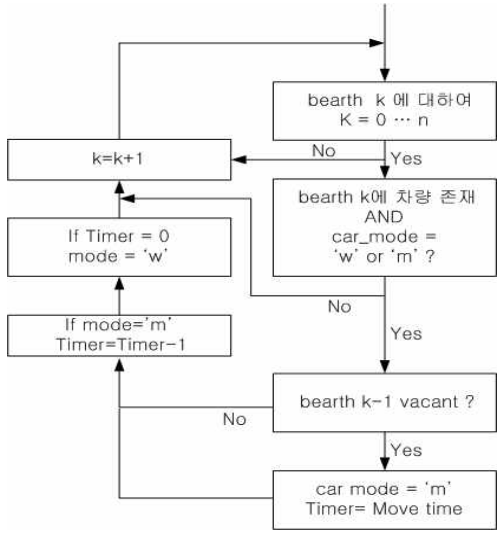
차량의 속성창에서 탑승 승객 ID가 6을 나타내며 다시 승객 6의 속성 창을 보면 승객 6이 어느 역을 언제 출발하여 도착역에는 언제 도착하였는지를 보여준다. 그림 3.3.38는 승객이 하차를 완료한 모습이다. 승객 모드가 'f'(여행 종료)이다. 차량 모드는 'w'로 바뀐다. 승객 모드 = 'f' 란 승객이 여행을 완료하였음을 나타낸다. 또한 이때에 승객 여행에 대한 자료가 분석되어 승객의 속성에 저장된다. 분석 자료에는 승객의 출발지 역사 출현시간, 탑승시각, 역사 대기시간, 총 주행시간, 평균 주행속도, 여행시간 등이다. 그림 3.3.39에서 차량 그림에 색깔이 차있지 않다. 즉 비워있는 차량이다. 이것은 차량 안에 승객이 없음을 의미한다. 그림 3.3.40에서는 차량 20이 승차용 승강장으로 진행한 모습이고 아직 승객이 승차하지 않은 상태이다. 그림 3.3.40에서 차량 20에 승객이 탑승하기 시작하였다. 차량 모드 = 'b' 이고 Boarding Timer=3이다. 그림 3.3.41은 차량이 역사를 막 출발한 모습이다. 승객 및 차량 데이터 일부가 초기화 되었고 차량의 루트가 승객의 목적지 역사로 가는 최적 루트로 다시 재설정되었다. 대기하고 있던 승객 49가 탑승한 모습니다. 차량 속성 창을 보면 승객 ID가 49이며 승객 49의 속성 창을 보면 승객의 출발역 번호, 도착역 번호, 출발역 도착시간 등이 기록되어 있다. 차량의 속성에는 새로운 루트가 'track array' 속성에 등록된다. 출발역 번호는 10이고 도착역은 12이다. 차량의 속성에는 10에서 12 역사로 가는 루트가 'track array' 속성에 등록된다. 트랙 주행이므로 'active' 속성은 true로 바뀐다. 승객에 대한 속성도 바뀐 것을 볼 수 있다.

<표 3.3.1> 역사 내 차량 모드

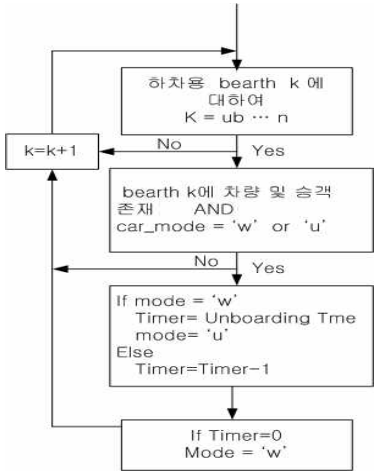
차량 역사 내 위치(Active=0), 역사제어장치 제어	
mode	상 태
w	승차 대기
m	승강장 내 이동 중, 이동 타이머에 의해 제어
b	승차(boarding) 중, 승차 타이머에 의해 제어
u	하차(unboarding) 중, 하차 타이머에 의해 제어
i	승강장 진입 대기



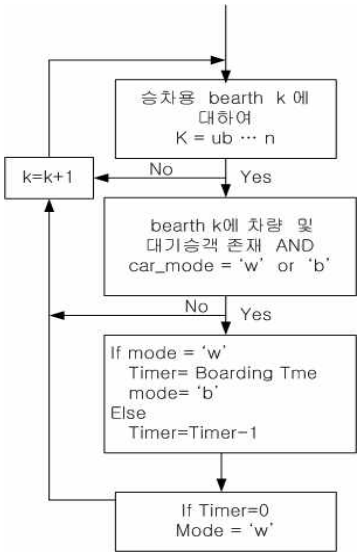
<그림 3.3.28> 역사 운영 흐름도



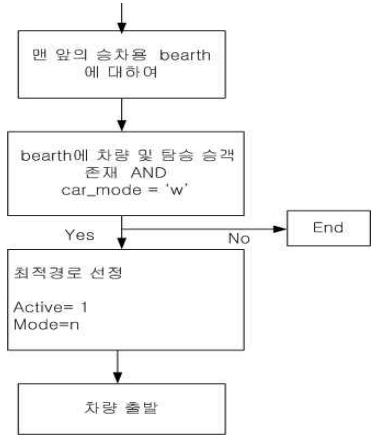
<그림 3.3.29> 차량의 승강장 내 이동 알고리즘



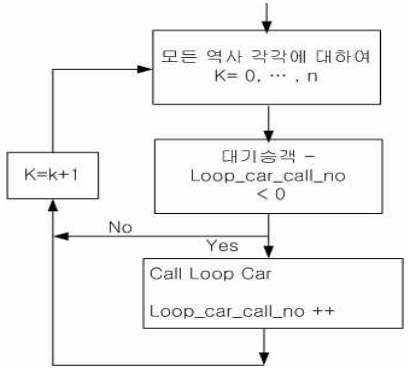
<그림 3.3.30> 승객 하차 알고리즘



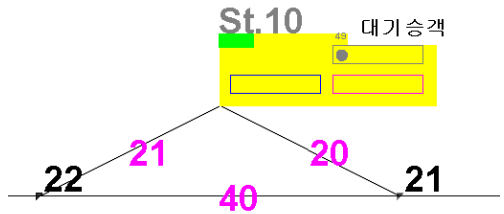
<그림 3.3.31> 승객 승차 알고리즘



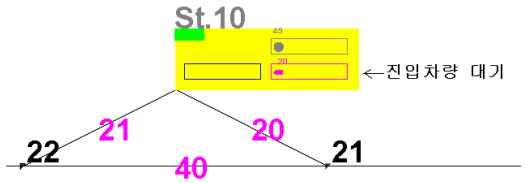
<그림 3.3.32> Dispatch Car 알고리즘



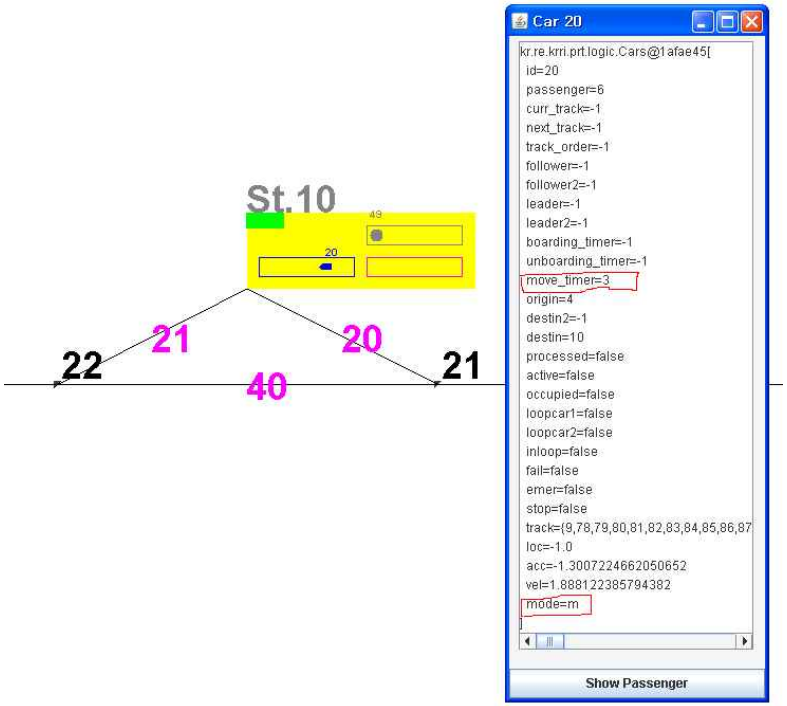
<그림 3.3.33> 공차(loop_car) call 알고리즘



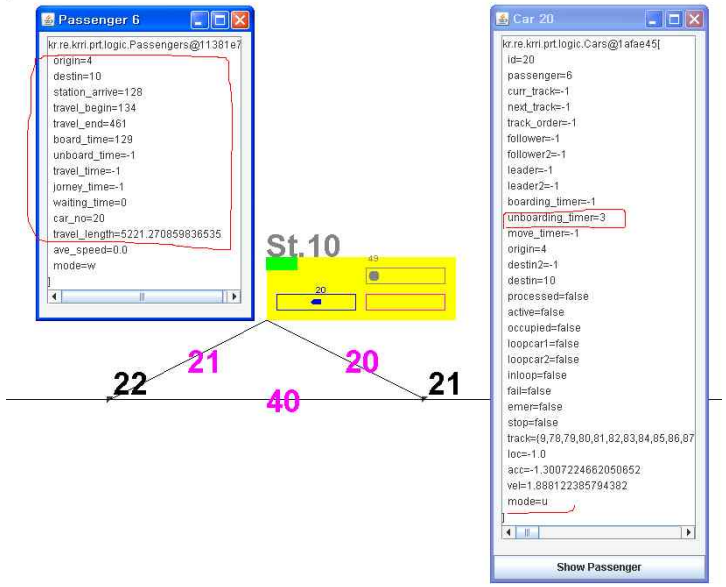
<그림 3.3.34> 역사 모델1(역사 10에 승객 49 출현)



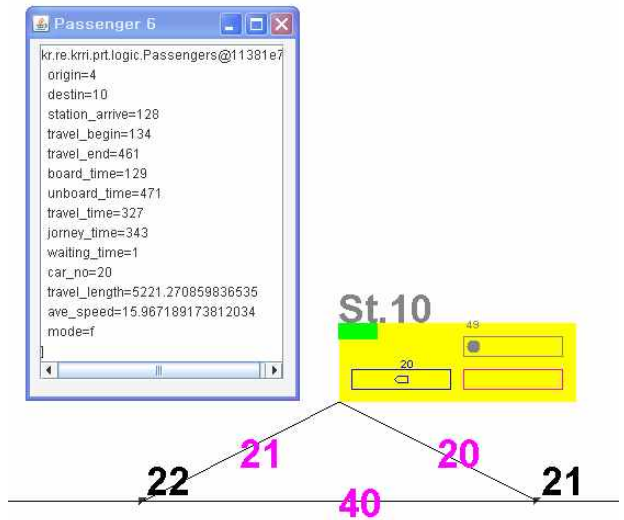
<그림 3.3.35> 역사 모델2(차량 20이 역 10에 도착)



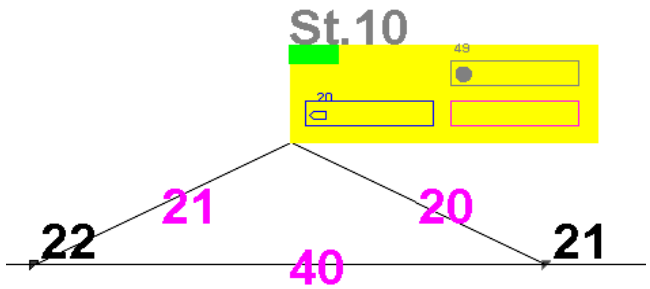
<그림 3.3.36> 역사 모델3(차량 20이 승강장 내에서 이동, 승객 하차 이전 상태)



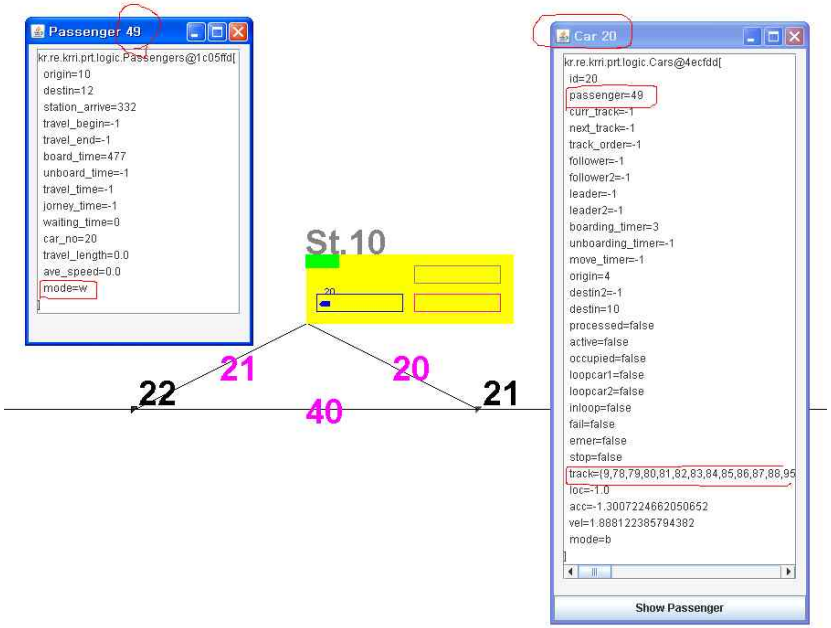
<그림 3.3.37> 역사 모델4(차량 20 승강장 내 이동 완료, 승객 6 하차 시작, mode='u', 하차 Timer=3)



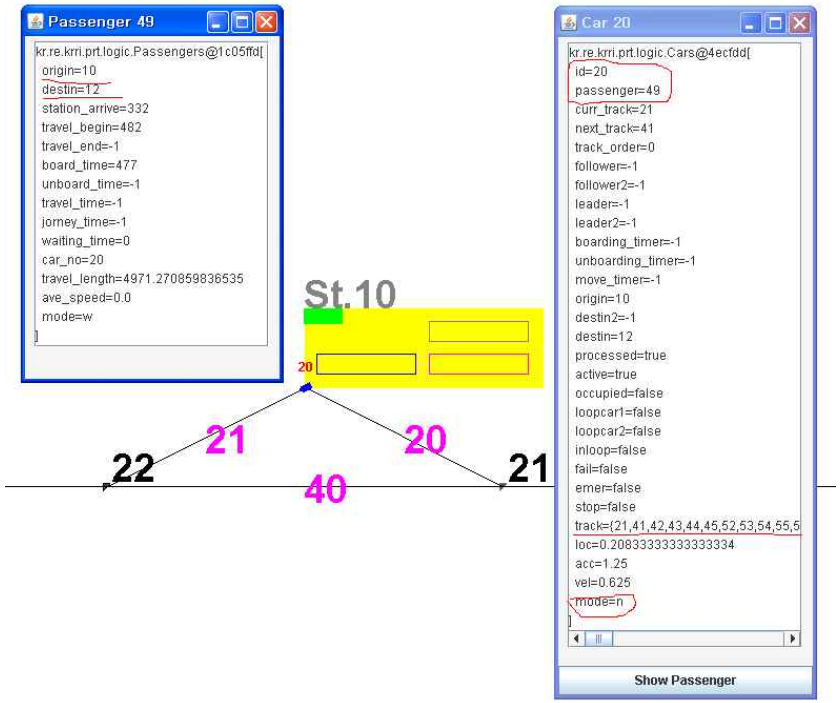
<그림 3.3.38> 역사 모델5(승객 6 하차 완료, 차량 mode='f', 승객 6의 여행 자료 저장)



<그림 3.3.39> 역사 모델6(차량 20이 승차용 승강장으로 진입, 승객 탑승 전)



<그림 3.3.40> 역사 모델7(차량 20에 승객 49 탑승, 승객 49의 여행경로가 차량 20에 저장)



<그림 3.3.41> 역사 모델8(차량 출발, 승객 속성 초기화, 차량 최적루트 등록 및 data update)

승객이 차량에 탑승하면 차량은 승객의 목적지 역사를 보고 목적지 역사로 가는 최적의 경로를 선정한다. 최적경로의 선정 방법은 다음과 같다. 시뮬레이터의 중앙 제어 컴퓨터는 승객의 목적지 역사까지 가는 최적의 루트를 선정한다. 최적의 루트는 경로의 트랙 번호를 순서대로 차량 메모리에 입력된다. PRT의 노선은 마치 시내 택시의 주행 노선과 유사하다. 승객이 원하는 곳으로 그때 그때 최적의 루트를 선정해서 가는 것이다. 이는 모든 정차장이 off line에 위치하고 차량이 개인 혹은 여행 그룹별로 할당되기 때문에 가능 하여진다. 최적의 루트는 최단거리 루트를 의미할 수도 있고 혹은 최소의 cost를 의미할 수도 있다. 이것은 객관적으로 어느 것이 최적이라고 정의하기보다는 승객 혹은 PRT 운영자가 무엇을 최적으로 할지 선정하는 것이 더 적절하다고 생각된다. 마치 어느 승객은 가장 빨리 가는 루트를 원하고 또 어느 승객은 가장 요금이 적게 나오는 루트를 원할 수도 있는 것과 유사하다.

(가) 최단 거리 경로 선정

최단 루트 선정 방법은 다음의 ① ~ ⑥의 rule에 의해 선정된다.

① 출발지점에서 시작하여 목적지에 도달할 때 까지 가능한 모든 트랙 번호를 루트 배열에 기록한다. 단 한 번에 한 트랙만 추가 한다.

② 한 번에 1개 트랙씩 추가한 후 검토한다(즉 루트 배열에서 인덱스를 1 증가 시키고 검토하고 또 1 증가시키고 검토하고 하는 식으로 수행하여 모든 잔여 루트가 최종 목적지에 도달할 때까지 수행함)

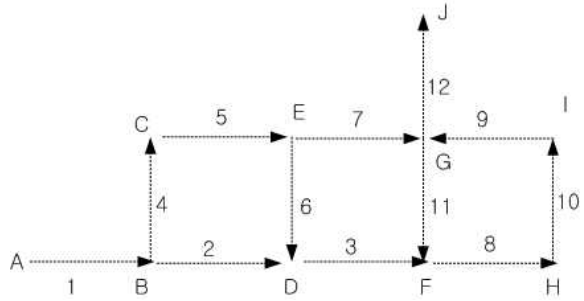
③ 각 루트를 비교하여 동일한 루트가 나오면 그때까지의 거리를 비교하여 거리가 긴 루트는 버린다.

④ 각 루트 내의 트랙번호를 점검하여 동일한 트랙이 2번 나오면 그 루트는 버린다. 이는 동일한 원형 트랙을 계속 도는 루트이기 때문이다.

⑤ 모든 루트가 최종목적지에 도달할 때까지 루트 탐색을 수행하여 루트 배열에 추가한다.

⑥ 남은 모든 루트가 최종목적지에 도달하면 각 루트의 총거리를 계산하여 제일 짧은 루트를 선정한다.

다음은 그림 3.3.42의 노선을 예로 위의 루트선정 방법에 대한 설명이다. 그림에서 A에 위치한 car가 J로 간다고 할 경우 최단 거리 루트를 탐색하는 과정이다. 우선 A에서 출발하여 갈 수 있는 모든 루트를 루트 배열에 기재하되 한 번에 한 트랙씩 추가 하고 각 루트를 비교 검토하여 탈락되는 루트가 있는지 검토한다. 이러한 과정을 모든 남아 있는 루트가 목적지에 도달할 때까지 수행한다. 표 3.3.2는 본 예에 대해 작성된 루트 배열을 보여준다. 표에서 루트 3은 중간에 탈락된다. 루트 3의 4번째 인덱스에 트랙 3이 있고 루트 1의 2번째 인덱스에도 트랙 3이 있다 이 경우 루트 1의 트랙 1 및 2의 합(거리 1)과 루트 3의 트랙 1, 4, 5, 6의 합(거리 2)을 비교하면 거리 2가 거리 1보다 크므로 위 알고리즘 ③에 의하여 루트 3은 탈락된다. 루트 4도 탈락된다. 루트 4내에 트랙 8이 2번 나타나므로 위 알고리즘 ④에 의하여 탈락된다. 루트 5도 루트 3과 동일한 이유로 (즉 트랙 8이 루트1과 루트 5에 포함되므로 위 알고리즘 ③에 의하여 탈락) 탈락된다. 최종까지 남은 2개의 루트는 각 루트의 총 거리를 계산하여 총 주행거리가 짧은 루트가 최종적으로 선정된다.



<그림 3.3.42> 루트 선정을 위한 인덱싱 방법

<표 3.3.2> 최단거리 루트선정 인덱스 테이블

인덱스	0	1	2	3	4	5	6	7	비고
루트 1	1	2	3	8	10	9	12		최종목적지 도달
루트 2	1	4	5	7	12				최종목적지 도달
루트 3	1	4	5	6	3				중간탈락
루트 4	1	2	3	8	10	9	11	8	중간탈락
루트 5	1	4	5	7	11	8			중간탈락
· · ·									
루트 n									

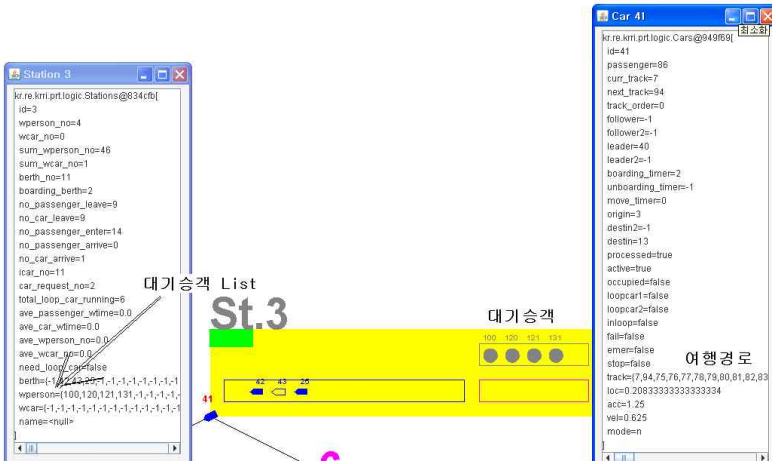
(나) 최소 비용 경로 선정

여행비용은 여행거리와 여행시간의 함수로 표시된다. 여행시간은 여행하는 각 트랙의 혼잡도에 따라 달라진다. 트랙 n의 혼잡도를 (n)으로 표시하면 총 여행 비용 C는 아래 식에 의해 계산된다.

$$= \sum_{n=0}^{n=k} l(n) \cdot t(n) \qquad (3.3.3)$$

(다) 여행경로 저장

위와 같이 산정된 루트는 승객이 차량에 탑승할 시 차량의 메모리에 저장된다. 그림 3.3.43은 역사 3의 모델이며 차량 41은 역사를 막 출발하였고 차량 41에는 승객 86의 최적 여행경로가 저장된다. 여행경로는 트랙번호 array(차량 속성에서 track)에 트랙번호 순서로 저장된다.



<그림 3.3.43> 3번 역사 모델(대기승객 list와 승강장에 있는 차량과 그 상태가 보여짐. 차량 41은 역사를 막 출발하였고 차량 41에는 승객 86의 최적 여행경로가 저장됨)

(2) 승객 관리(Passenger Operation)

승객 객체의 속성은 그림 3.3.44와 같으며, 각각의 의미는 다음과 같다.

- orgin : 출발지 역사
- destin : 목적지 역사
- station_arrive : 출발지 역사 출현 시각
- travel_begin : 승객이 차량에 탑승하고 출발지 역사를 출발한 시각
- travel_end : 목적지 역사 도착한 시각. 즉 travel_begin-travel_end는 차량의 주행시간이 됨.
- board_time : 출발지 역사에서 승객 탑승 시작 시각
- unboard_time : 목적지 역사에서 승객 하차 완료 시각
- travel_time : 차량 주행시간 즉 (travel_end - travel_begin)
- jorney_time : 승객 여행시간 즉 (unboard_time - station_arrive)
- waiting_time : 승객의 역사 대기시간 즉(board_time - station_arrive)
- car_no : 승객이 탑승한 차량 번호
- travel_length : 승객의 여행 거리 즉(출발지 역사 위치 - 목적지 역사 위치)
- ave_speed : 승객이 탑승한 차량의 평균 속도 즉 (travel_length / travel_time)

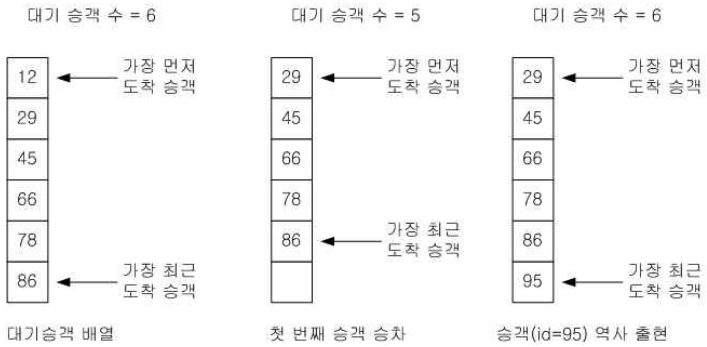
승객의 수송수요는 그림 3.3.45와 같이 입력 데이터로 주어진다. from, to 및 passenger/hr는 각각 출발지 역사, 도착지 역사 및 시간당 수송수요를 의미한다. 시뮬레이터는 매 타입스텝마다 수송수요에 맞춰 해당역사에 승객을 출현시키고 고유의 아이디(ID)를 부여한다. 승객이 역사에 출현하면 역사의 승객 대기 리스트에 등록된다. 승객 리스트는 그림 3.3.46에서와 같은 배열이며 First In First Out 로직으로 운영된다. 역사에 탑승 승강장에 대기 차량이 있을 경우 가장 앞선 대기 차량에 탑승하고 승객대기리스트에서 삭제된다. 그림 3.3.46에서 처음 승객의 수는 6명이고 12번 승객이 가장 먼저 역사에 도착한 승객이다. 즉 wperson[0]=12 이고 wperson[5]=86이다. 다음 승객 12가 차량에 탑승하면 wperson[0]=29, wperson[4]=86으로 바뀐다. 승객이 대기 차량에 탑승하면 차량에 목적지 역사를 입력시키고 차량은 목적지 역사로 가는 최적의 경로를 탐색하여 주행한다. 차량이 목적지 역사에 도착하여 하차 승강장에서 정지하면 하차함으로써 여행이 종료된다.



<그림 3.3.44> 승객 속성

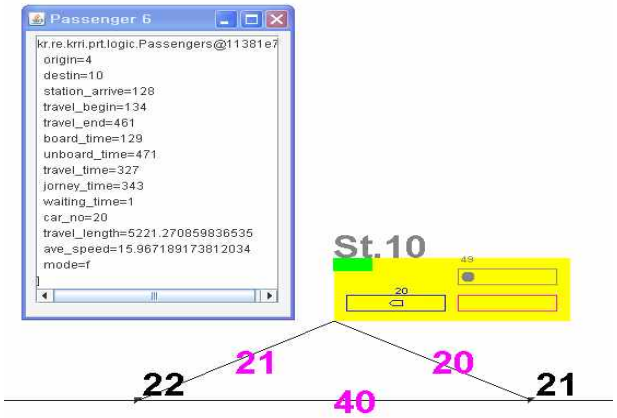
from	to	Passengers/Hr	begin OD data
1	2	134	
1	3	168	
1	4	2,748	
------	중 략	├--------	
12	1	1,297	
12	2	256	
12	3	25	
12	4	12	
12	5	83	

<그림 3.3.45> 입력 data 중 수송수요 입력 부분(1역에서 2역으로 시간당 134명 예상)



<그림 3.3.46> 역 대기승객 배열(station.wperson[])

승객이 여행을 완료하면 승객 여행에 관한 여행 데이터가 분석되어 승객의 속성에 저장된다(그림 3.3.47 참조).



<그림 3.3.47> 10번 역사 모델(승객 6은 차량 20을 타고 역사 10에 도착하여 하차를 완료함. 이 때 승객 6의 속성에는 여행의 분석 자료가 저장된다. 승객 mode='f')

(3) 차량 운전(Car_Operation)

그림 3.3.48은 시뮬레이션 화면에서의 차량 모델과 차량의 속성을 보여준다. 차량 속성의 의미는 다음과 같다.

- id : 차량 고유 번호
- passenger : 승객이 탑승하고 있을 경우 승객의 id, 승객이 없을 경우는 -1.
- curr_track : 현재 차량이 주행하고 있는 트랙 번호
- next_track : 차량의 주행 경로 중 다음번 트랙 번호
- track_order : 차량의 경로 배열 중 현재 주행 트랙(curr_track)을 가리키는 배열 인덱스
- follower : 후행 차량의 id
- follower2 : 후행 차량 2의 id
- leader : 선행 차량의 id
- leader2 : 선행 차량 2의 id
- boarding_timer : 승객이 탑승할 경우 탑승완료 시까지 남은 시각, 즉 이 값이 0이 되면 탑승이 완료되는 것으로 모의됨
- unboarding_timer : 승객이 하차할 경우 하차 완료 시까지 남은 시각, 즉 이 값이 0이 되면 승객 하차가 완료되는 것으로 모의됨
- move_timer : 차량이 승강장 내에서 이동할 경우 앞의 승강장으로 이동이 완료되기까지 남은 시각, 즉 이 값이 0이 되면 차량 이동이 완료되는 것으로 모의됨
- origin : 차량의 출발지 역사(탑승 승객의 orgin과 동일)
- destin : 차량의 도착지 역사(탑승 승객의 destin과 동일)
- processed : boolean 값으로 만약 이 값이 true 이면 다음 타임 스텝에서 차량의 주행 계산이 완료되었음을 가리킴. 차량의 주행 파라메타 산정은 선행차량의 주행 파라메타가 이루어 진 후이거나 혹은 선행차량이 없거나 한 경우에 가능하다. 따라서 선행차량의 processed 속성이 true 이어야만 주행 파라메타 계산이 시작된다.
- active : boolean 값으로서 이 값이 true 이면 차량이 주행 중임을 가리킨다. 즉 역사 내에 차량이 있을 경우 이 값은 false로 설정된다.
- occupied : boolean 값으로서 이 값이 true 이면 차량에 승객이 탑승하고 있음을 가리킨다. 즉, 공차인 경우는 이 값이 false로 설정된다.
- loopcar1 : boolean 값으로서 이 값이 true 이면 이 차량은 loopcar 임을 의미함
- loopcar2 : boolean 값으로서 이 값이 true 이면 loopcar1은 반드시 true임. 이 값이 true 이면 '이 차량은 loopcar 이지만 아직 어느 역사에서도 call을 받지 않아 계속 LOOP를 돌고 있는 중임'을 의미하고, 만약 false이면 '이 차량은 loopcar 이고 이미 어떤 역사에서 call을 받아 그 역사로 가고 있는 중임'을 의미함.

◦ inloop : boolean 값으로서 이 값이 true 이면 'loopcar가 차량기지에서 특정 loop로의 진행을 지시 받았을 경우에 그 loop에 진입하였음'을 의미함.

◦ fail : boolean 값으로서 이 값이 true 이면 차량에 사고가 있음을 의미한다. 이 경우 차량은 사고 감속도로 정지 시까지 주행한다.

◦ emer : boolean 값으로서 이 값이 true 이면 사고차량과 동일한 트랙에 위치하거나 혹은 다음 예정 트랙(next_track)에 사고차량이 존재하는 경우이다. 이 차량은 비상정지 감속도로 정지 시까지 주행한다.

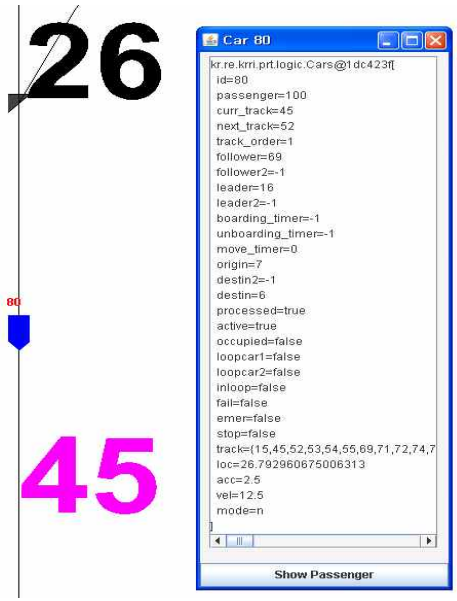
◦ track : 1차원 배열로서 주행경로가 순서대로 저장된다. 주행경로는 트랙번호의 나열로 표시된다.

◦ loc : 주행 중인 트랙 내에서의 위치. 위치는 1차원으로 표시됨. 단위는 [m] 임.

◦ acc : 차량의 가속도 [m/s^2]

◦ vel : 차량의 속도 [m/s]

◦ mode : 차량의 운전상황.

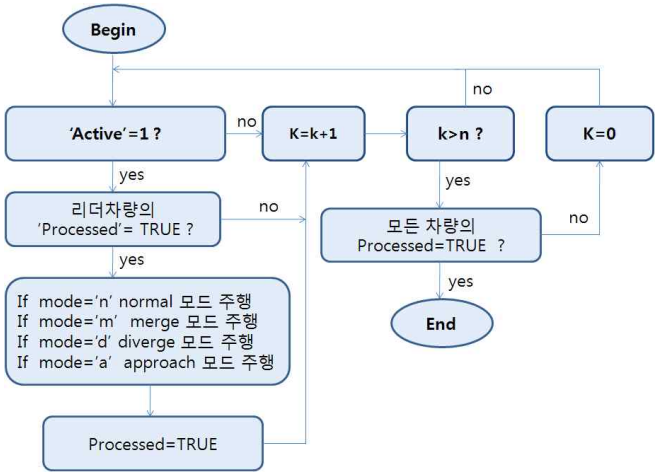


<그림 3.3.48> 화면에서의 차량 모델과 차량 속성

차량의 속성인 'active'가 '0'이면 차량이 역사 내에 존재함을 의미하며, 'active'가 '1'이면 역사 밖의 트랙에 존재함을 나타낸다. 중앙제어컴퓨터는 모든 차량 중에서 'active'=1인 차량에 한해 주행제어를 한다. 차량은 현재 차량이 위치하고 있는 트랙의 타입에 따라 주행 방법이 변하며, 표 2-30은 트랙에 따른 차량의 주행모드를 보여준다. 이 주행모드는 트랙 관리 프로시저에서 설정된다. 본 시뮬레이터에서 적용한 비동기식 제어 알고리즘의 경우, 리더 차량이 없는 경우도 있다. 앞 차량과의 거리가 너무 길거나 실제로 맨 선두차량인 경우가 그렇다. 이 경우 리더차량의 번호를 -1로 부여함으로써 리더차량이 없음을 중앙제어컴퓨터에 알린다. 차량의 주행제어 파라메타가 구해지면 그 차량의 boolean 속성 'processed'가 'false'에서 'true'로 바뀐다. 따라서 차량의 주행 파라메타를 구하기에 앞서 리더 차량의 속성 'processed'=TRUE가 전제조건이 된다. 그림 3.3.49는 '차량운전' 프로시저의 논리 흐름도이다.

<표 3.3.3> 노선 주행 중 차량의 운전모드

차량 역사 밖 위치(Active=1), 중앙제어컴퓨터 제어	
mode	상 태
a	역사 진입(approach) 주행 모드, 역사와 차량 사이에 다른 차량이 없을 경우
n	정상 주행 모드, 선행 차량과 안전거리를 확보에만 유의하면서 주행
m	병합(merge) 구간 주행 모드,
d	분기(diverge) 구간 주행 모드



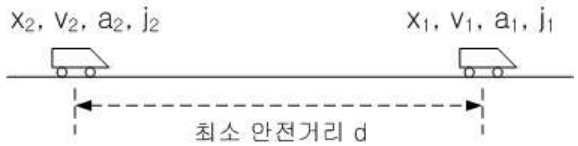
<그림 3.3.49> 차량 운전의 논리 흐름도

시뮬레이터에서 모의되는 차량제어 방식은 비동기식 차량제어 방식이다. '비동기식 안전운행 제어' 방식에서는 앞차와의 안전거리를 유지하며 운행하는 방식이므로 이 안전거리에 관한 명확한 정의가 필요하다. 참고문헌 2에 의하면 안전운행에 관해 다음과 같이 정의하였고 본 시뮬레이터에서도 이 정의를 적용하였다. 즉 안전운행이란

① 정상운전 상태에서 앞차와의 안전거리를 충분히 유지하여 앞 차량이 최대 운전 파라메터(최대 감속도, 최대 저크)를 적용하여 감속하고 최대한의 데이터 통신 시간지연(latency)이 있을 경우에도 뒤 차량은 정상상태 운전이 허용하는 운전 파라메타를 적용하여 앞차와 충돌 없이 정지할 수 있어야 한다.

② 사고를 포함하는 비 정상 정지 시에도, 즉 앞 차량이 최대 사고 감속도로 정지할 경우에도, 앞차와의 안전거리가 충분히 유지되어, 뒤 차량은 최소 비상제동 감속도를 적용하여 또한 최대 시간의 기기반응 시간을 적용하여 앞차와 충돌 없이 정차할 수 있어야 한다.

위에서 정의된 안전거리 조건 ① 및 ②를 안전주행법칙_1 및 안전주행법칙_2로 칭한다. 안전주행법칙_1에서의 안전거리를 그림 3.3.50을 참조하여 수식으로 표현하여 보자. 그림에서, 첨자 1은 선행차량과 관계되는 내용이고 첨자 2는 후행차량과 관계되는 내용을 의미한다. x, v, a, 및 j는 각각 차량의 위치, 속도, 가속도, 저크를 의미한다.



<그림 3.3.50> 비동기식 안전운행 제어방식의 안전거리

차량1, 즉 선두 차량이 가장 빨리 정차하는 방법은 일단 최대 저크를 이용하여 상용 최대 감속도까지 감속하고 이 후부터는 상용 최대 감속도로 속도가 0이 될 때까지 감속하는 것이다. 수식으로 표현하면 식 (3.3.4)~(3.3.9)이 된다.

$$_j = (a_1 - \ cc)/Jerk \tag{3.3.4}$$

$$y_{11} = v_1 \cdot t_j + \frac{1}{2} a_1 \cdot t_j^2 + \frac{1}{6}(-Jerk) \cdot t_j^3 \tag{3.3.5}$$

$$v_{1j} = v_1 + a_1 \cdot t_{1j} + \frac{1}{2}(-Jerk) \cdot t_{1j}^2 \tag{3.3.6}$$

$$t_{1d} = - \frac{v_{1j}}{Dcc} \tag{3.3.7}$$

$$y_{12} = v_{1j} \cdot t_{1d} + \frac{1}{2}(-Dcc) \cdot t_{1d}^2 \tag{3.3.8}$$

$$y_1 = y_{11} + y_{12} \tag{3.3.9}$$

여기서

t_{1j} : 1번 차량이 최대 jerk로 감속하여 최대 감속도에 이르는 시간

$Jerk$: 시스템에서 주어지는 최대 jerk

v_{1j} : 1번 차량이 최대 jerk로 감속하여 최대 감속도에 이를 때 1번 차량의 속도

t_{1d} : 1번 차량이 최대 감속도 이르러 jerk=0 가 된 후, 최대 감속도를 적용하여 속도=0 이 될 때까지 걸리는 시간

Dcc : 시스템에서 주어지는 최대 감속도(음의 값)

y_{11} : t_{1j} 시간에 1번 차량의 주행 거리

y_{12} : $_d$ 시간에 1번 차량의 주행 거리

y_1 : 1번 차량이 감속하기 시작하여 정차할 때까지의 총 주행거리

2번 차량의 주행거리도 유사하게 식 (3.3.10)~(3.3.16)로 표현된다. 식 (3.3.15)에서는 통신 지연 등을 고려한 시간 지연(latency)이 고려된 것이다. 즉 첫 번째 시간 동안은 v_2 의 정속도로 진행한다.

$$_j = (a_2 - \ cc)/Jerk \tag{3.3.10}$$

$$y_{21} = v_2 \cdot t_{2j} + \frac{1}{2} a_2 \cdot t_{2j}^2 + \frac{1}{6}(-Jerk) \cdot t_{2j}^3 \tag{3.3.11}$$

$$v_{2j} = v_2 + a_2 \cdot t_{2j} + \frac{1}{2}(-Jerk) \cdot t_{2j}^2 \tag{3.3.12}$$

$$t_{2d} = - \frac{v_{2j}}{Dcc} \tag{3.3.13}$$

$$y_{22} = v_{2j} \cdot t_{2d} + \frac{1}{2}(-Dcc) \cdot t_{2d}^2 \tag{3.3.14}$$

$$y_{23} = v_2 . t_l \tag{3.3.15}$$

$$y_2 = y_{21} + y_{22} + y_{23} \tag{3.3.16}$$

여기서

t_{2j} : 1번 차량이 최대 jerk로 감속하여 최대 감속도에 이르는 시간

erk : 시스템에서 주어지는 최대 jerk

v_{2j} : 1번 차량이 최대 jerk로 감속하여 최대 감속도에 이를 때 1번 차량의 속도

t_{2d} : 1번 차량이 최대 감속도 이르러 jerk=0 가 된 후, 최대 감속도를 적용하여 속도=0 이 될 때까지 걸리는 시간

t_l : 제어신호의 통신 지연시간 및 차량제어장치의 반응 지연시간

Dcc : 시스템에서 주어지는 최대 감속도(음의 값)

y_{21} : t_{1j} 시간에 2번 차량의 주행 거리

y_{22} : t_{1d} 시간에 2번 차량의 주행 거리

y_{23} : t_l 시간에 2번 차량의 주행 거리

y_2 : 2번 차량이 감속하기 시작하여 정차할 때까지의 총 주행거리

따라서 안전 주행을 위해서는 항상 식 (3.3.17)를 만족시키면서 운행하여야 한다.

$$x_1 + y_1 > x_2 + y_2 \tag{3.3.17}$$

식 (3.3.17)는 정상운전 상태에서의 안전거리 확보이다. 다음은 비정상 상태에서의 즉 위의 안전조건 ②를 만족하는 안전거리를 분석하면 다음과 같다. 우선 주행 차량에 대해 jerk가 적용되지 않는다. jerk는 어디 까지나 승객의 승차감을 위한 제어 파라메타이다. 비상운전 시에는 적용되지 않는다. 따라서 1번 차량은 사고로 정지하고 2번 차량은 1번 차량의 사고를 인지한 후 비상제동장치를 사용하여 정지한다. 이를 수식으로 표현하면 식 (3.3.18), (3.3.21)와 같으며, 식 (3.3.21)가 모든 $t < t_s$ 에서 만족하여야 한다.

$$y_3 = v_1 \cdot t + \frac{1}{2} a_{mf} \cdot t^2 \tag{3.3.18}$$

$$y_4 = v_2 \cdot t_l + v_2 \cdot (t - t_l) + \frac{1}{2} d_{emer} \cdot (t - t_l)^2 \tag{3.3.19}$$

$$t_s = - \frac{v_2}{D_{emer}} + t_l \tag{3.3.20}$$

$$x_1 + y_3 > x_2 + y_4 \ \text{ for } all \ \ t < t_s \tag{3.3.21}$$

여기서

a_{mf} : 최대사고 감속도(Maximum Failure Deceleration Ratio), 음의 값

d_{emer} : 최소 비상제동 감속도(minimum Emergency Deceleration Ratio), 음의 값

y_3 : 1번 차량(여기서는 사고 차량이 됨)의 감속 후부터 정지 시까지의 이동 거리

y_4 : 1번 차량 감속 후부터 2번 차량의 주행거리

t_l : 1번 차량의 사고 후 2번 차량의 비상제동장치 작동 시까지의 지연 시간

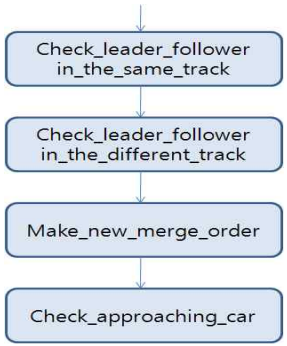
t_s : 후행차량 즉 2번 차량이 속도 v_2에서 최소 비상제동 감속도(d_{emer})로 감속 시 속도가 0이 될 때 까지 걸리는 시간

따라서 정상 모드 주행(오직 선두 차량 만 고려한 주행)에서는 식 (3.3.17)과 식(3.3.21)를 만족하면서 주행하여야 한다.

(4) 트랙 관리(Track_Operation)

시스템 노선에서 역사, 분기지점, 병합지점 혹은 제한속도가 변하는 지점을 노드(node)로 설정하고 노드와 노드사이를 트랙으로 명명하였다. 각 트랙은 자기 트랙 내에서 주행하는 차량의 정보를 중앙제어컴퓨터에 실시간으로 제공한다. 중앙제어컴퓨터는 각 트랙

내 차량 및 위치를 통보받고 차량과 차량 사이의 리더-펄로우어 관계를 설정하고 차량의 주행모드를 설정한다. 차량의 주행모드는 특별한 상황이 없는 한 정상주행모드인 'n'으로 설정된다. 그림 3.3.51은 'Track_operation'에서 수행되는 상세내용을 보여 준다. 프로시저 'Check_leader_follower_in_the_same_track'은 동일 트랙 내의 모든 차량에 대하여 그 위치에 따라 리더, 펄로우어 관계를 설정한다. 다음 프로시저 'Check_leader_follower_in_the_different_track'에서는 트랙 내 선두차량과 그 차량의 경로 상 다음 트랙의 후미 차량과의 리더-펄로우어 관계를 설정한다. 또한 현재 트랙이 분기 트랙인 경우 트랙 내 선두 차량과 트랙 내 2번째 선두 차량의 다음 주행 트랙이 서로 다를 경우 2번째 선두 차량은 리더 차량 외에 또 다른 리더 차량이 필요하며, 또 다른 리더차량을 리더2(leader2) 차량이라 부른다. 즉 현재 트랙의 타입이 분기 트랙이면 선두차량과 2번째 선두차량의 다음 경로에 따라서 리더2 차량이 설정된다. 이 경우 차량의 모드는 'd'로 설정된다. 다음 프로시저인 'make_new_merge_order'에서는 병합구간의 차량들에 대한 리더2-펄로우어 관계를 설정한다. 병합구간에서는 자기 트랙 내 선행차량이 리더 차량이 된다. 그러나 경우에 따라서 본 트랙에 병합하는 다른 트랙을 주행하는 차량을 리더2 차량으로 설정할 필요가 있으며 이 경우 리더2 차량의 설정과 함께 차량의 주행모드는 'm'으로 설정된다. 다음 프로시저인 'Check_approaching_car'는 트랙의 끝 노드가 역사인 경우에 한 한다. 즉 현재 트랙이 마지막 주행 트랙이므로 트랙 끝에서는 속도가 0에 접근해야 한다. 따라서 이러한 트랙인 경우 차량의 위치에 따라 언제부터 일정한 감속도로 감속하여 정 위치에 정차시킬 것인가를 판단하고 차량이 이 범위에 위치할 경우 주행모드를 'a'로 바꾼다.



<그림 3.3.51> 트랙 관리 흐름도

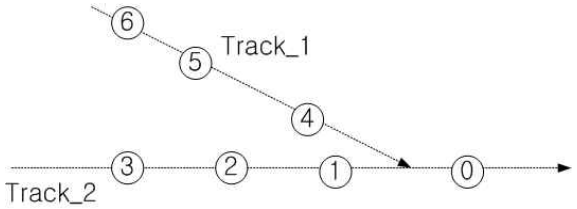
(5) Leader-follower 관계

PRT 운행제어 시뮬레이션에서 주행하는 모든 car는 다음의 2가지 이유로 자신의 leader car와 follower car에 대한 명확한 정보를 갖고 있어야 한다. 첫째, 비동기식 운행제어 방식은 일명 Car Follower 방식이다. 모든 차는 앞의 차량과의 안전거리 관계를 유지하면서 주행한다. 중요한 것은 앞의 차량 즉 자기가 따라가야 하는 차량이 어느 차량 인지를 명확히 하여야 한다. 따라서 모든 차량(car)의 속성에는 Leader Car, Follower Car가 명시되어 있다. 병합구간에서는 leader car가 2개일 필요가 있다. 그러므로 car의 속성에도 leader2 car, follower2 car가 함께 명시된다. 둘째, 실제 시뮬레이션의 진행에 있어서는 디스크리트(discrete) 한 시간 마다 시스템의 변수를 계산하게 된다. 예를 들어 타이스텝이 1초인 경우 5초에 car의 위치를 계산하였으면 다음에는 6초에 car의 위치를 계산한다. 따라서 follow car의 다음 1초간의 주행 방법을 결정하기 위해서는 leader car가 다음 1초 동안에 어떻게 주행하였는지에 대한 정보가 필요하다. 이 조건에 의해 모든 car의 주행 계산은 항상 leader car의 주행 계산이 선행된 후에 이루어 져야한다. 맨 처음에는 leader car가 없는 차량의 주행 계산이 수행된다. leader car가 없는 차량이란 맨 앞의 차량을 의미한다.

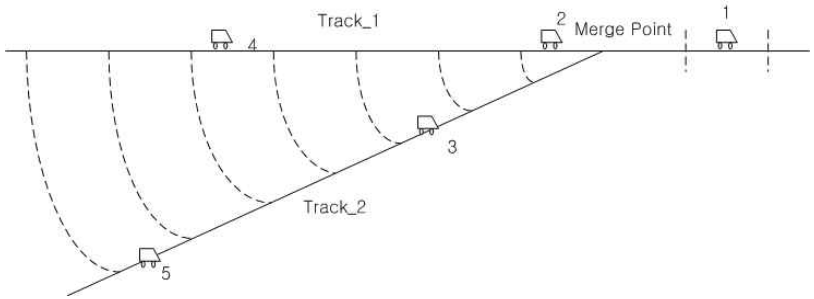
(가) 병합구간의 운행제어

병합구간의 운행제어는 병합지점에서 일어날 수 있는 차량의 충돌이 일어나지 않도록 병합 구간에 있는 차량의 속도를 제어하는 것을 의미한다. 그림 3.3.52에 병합구간에서 운행하는 차량을 나타내었다. 일반 트랙이라면 ②, ③ 차량은 각각 ①, ② 차량과 또한 ⑤, ⑥ 차량은 각각 ④, ⑤ 차량과의 안전거리를 유지하면서 주행하면 된다. 하지만 이 경우 병합지점에 이르렀을 때 다른 트랙에서 접근하는 차량과 충돌할 수 있다. 이를 방지하기 위해서 운행제어 시스템은 병합 구간에 있는 차량의 속도를 제어해야 한다. 동기제어(synchronous control)식 방식에서는 각 병합 트랙의 블록을 서로 일치시키고 다른 트랙에 있는 차량을 자신의 트랙으로 가상적으로 옮겨와 최소한 한 블록의 빈 블록을 사이에 두고 차량을 운전하는 방식으로 제어한다. 이 방식은 목적은 달성할 수 있지만 효율적이지는 못하다. 첫째, 그림 3.3.53의 예에서 ⑤번 차량의 속도가 ④번 차량의 속도에 비해 매우 빠르다면 ⑤ 번 차량이 ④ 번 차량보다 늦게 가기 위해서 일부러 속도를 감속하여야 하는데 이는 비효율적이다. 병합지점에 빨리 도착할 수 있는 차량부터 빨리 도착할 수 있도록 순서가 정해져야 한다. 또한 병합 구간의 양쪽 트랙이 동일한 속도로 진행한다는 것도 비효율적인 것이다. 본 시뮬레이터에서는 일반 승합차가 고속도로 램프에서 고속도로로 진입하는 방식을 도입하였다. 즉 상대편 트랙에서 주행하는 차량의 속도로서

병합지점에 도달하는 시각을 예측하고 자기차량의 병합지점 도착시각을 예측하여 비교함으로써 병합지점에 자신이 먼저 도착하도록(가속이 필요할 수도 있음) 운전할 것인지 혹은 상대 차량을 먼저 보내고 자신이 다음에 병합지점에 도달하도록(감속운전이 필요할 수도 있음) 운전할 것인지를 결정하는 것이다. 시뮬레이션에서도 병합구간에 있는 모든 차량의 병합지점 도착예정시간을 계산하여 병합지점 도착 순서를 결정한다. 그림 3.3.52의 예에서 병합지점의 예상도착시각에 따라 병합지점 도착 순서가 ①, ②, ④, ③, ⑤, ⑥ 으로 정해지면 car ⑤의 경우 leader car는 ④가 되고 leader2 car는 ③이 된다. 즉 car ⑤는 car ④에 대해 주행법칙_1 및 주행법칙_2에 의해 주행하고 car ③ 에 대해서는 주행법칙_3에 의해 주행하여야 한다. 이 경우 car ⑤의 주행계산을 위해서는 car ④ 및 car ③의 주행계산이 선행되어야 한다(leader-follower 관계).



<그림 3.3.52> 병합구간에서의 운행제어



<그림 3.3.53> 병합구간에서의 차량의 도착관계

병합구간을 주행하는 차량의 안전주행 법칙은 다음의 ①~⑤와 같다. 이 후 “안전주행법칙 3”으로 칭한다.

① leader 차량과 leader2 차량에 대해 안전거리를 유지하여야 한다.
② leader 차량에 대해서는 “안전주행법칙 1” 및 “안전주행법칙 2” 에 의거 안전주행한다.
③ leader2의 병합지점 통과 예상시간을 계산한다(t1). 이때 통과시간뿐 아니라 병합지점 통과 시의 예상속도(v2)도 함께 계산한다.
④ 자기 차량이 앞으로 t1시간 동안 주행할 거리와 속도, 위치를 계산한다.
⑤ ③ 및 ④의 결과 leader2 car 및 자기차량의 t1 시간 후 위치, 속도, 가속도가 계산된다. 이 자료로 t1시간 에서 “안전주행법칙 1” 및 “안전주행법칙 2”를 적용한다.

병합구간의 차량이 병합지점 통과 예상시간은 해당 가이드웨이의 최고 허용속도, 최대 허용 저크, 최대 가속도의 조건 하에서 가장 빠르게 주행한다는 가정 하에 계산된다.

(나) 분기구간에서의 안전 운행

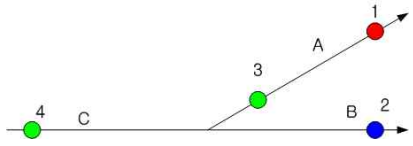
분기구간에서 안전주행에 관한 특별한 법칙은 필요하지 않다. 다만 Leader-Follower 관계에 대해 다음의 2가지 점에 유의해야 한다.

■ 분기구간에서의 안전 운행 유의사항(I)

아래 그림 3.3.54에서 track_C를 다이버지(diverge) 구간이라 부른다. 그림 3.3.54에서 차량 3의 넥스트 트랙(next_track, 루트에서 다음번에 주행할 트랙)이 track_A인 경우, leader-follower 관계는 다음과 같다.

① car[1].follower=3
② car[3].leader=1
③ car[3].follower= 4
④ car[4].leader=3
⑤ car[2].follower=-1

위의 관계에서 car[*].follower=-1는 follower가 없음을 의미한다. 다음 순간 leader-follower 관계는 car 4의 next_track에 따라 2가지 경우가 생긴다.



<그림 3.3.54> 분기구간에서의 주행[1]

먼저 car 4의 next track이 track_A인 경우

① car[1].follower=3
② car[3].leader=1
③ car[3].follower= 4
④ car[4].leader=3
⑤ car[2].follower=-1

즉 아무 변화가 없다.
다음 car 4의 next track이 track_B인 경우

① car[1].follower=3
② car[3].leader=1
③ car[3].follower= -1
④ car[4].leader=2
⑤ car[2].follower=4

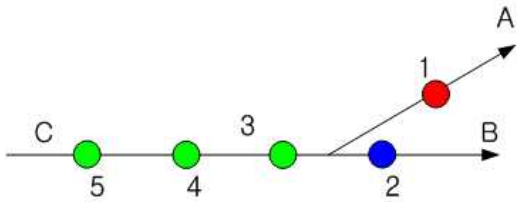
즉 ③~⑤가 바뀌어야 한다. 일반적으로 어떤 차량(예: car_3)이 다이버지 구간을 벗어날 때 car_3의 follow car (예: car_4)의 next track을 점검하여 car_3의 현재트랙(curr_track, 현재주행하고 있는 트랙)과 같으면 leader-follower 관계에 변화가 없고, 만약 car_4의 넥스트 트랙(track_C)이 car_3의 현재 트랙(track_B)과 다르면 car_4의 넥스트 트랙(track_C)을 찾고 그 track의 마지막 차량(last car)을 찾아(car_2) 아래 ①~③과 같이 수정하여야 한다.

car_save=car_4.leader
① last_car.follower=4

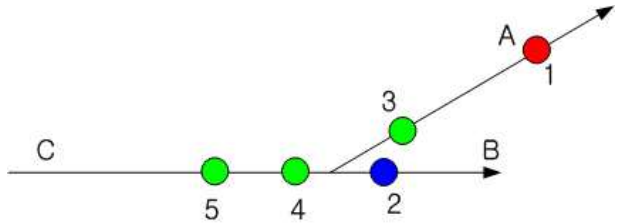
② car_4.leader=last_car
③ car_save.follower=-1

■ 분기구간에서의 안전 운행 유의사항(II)

다음 그림 3.3.55에서 car[3].leader=1, car[4].leader=3, car[5].leader=4 인 경우에, 만일 car 3의 넥스트 트랙이 트랙 A이고 car 4의 넥스트 트랙이 B인 경우, 다음 순간 각 차량의 위치는 그림 3.3.56과 같이 된다. 이때 car 4는 방금 전까지 car 3 와의 안전거리만 유의하여 주행하였지만 car 3가 다이버지 지점을 벗어나는 순간 car 2가 갑자기 leader 차량이 된다. 이 경우 car 2와 안전거리 확보가 되어 있지 않을 수 있다. 따라서 다이버지 구간에 있는 차량 중 2번째 차량(그림 3.3.55에서 차량 4)은 leader와 함께 leader2을 지정하여 leader 차량이 분기지점을 통과한 후에 대비한다. 그림 3.3.55의 상태에서 car[4]. leader=3, car[4].leader2=2 로 지정하여 car 4는 차량 2 및 차량 3에 대해 안전주행법칙 1 및 2를 준수하여 운행한다. 물론 이 경우 차량 4에서 보면 차량 2가 항상 차량 3보다 멀리 있지만 차량의 위치뿐만 아니라 차량의 속도도 안전거리에 영향을 주기 때문이다.



<그림 3.3.55> 분기구간에서의 주행[2]



<그림 3.3.56> 분기구간에서의 주행[3]

(다) 정차구간에서의 안전운행

정차구간은 역사에 진입하는 구간을 의미한다. 역사로 진입하는 차량의 속도가 $[m/s]$ 일 때 차량이 일정 감속도 $a[m/s]$로 역사에 진입하고자 한다면 $s=v^2/2a[m]$ 의 거리에서 감속하기 시작한다. 이와 같이 역사에 진입하는 구간에 있는 차량이 어디서부터 어느 감속도로 역사에 진입할 것인지를 결정하여야 한다.

다. 공차관리 (Vacant Vehicle Management)

시뮬레이터에서 공차관리는 2가지 방법으로 수행된다. 하나는 공차 계획배차이며 또 하나는 루프(Loop) 차량의 공급이다.

(1) 공차 계획배차

주어진 수송수요를 분석하면 통계적으로 공차가 요구되는 역사와 공차가 발생하는 역사로 구분하여 공차의 수를 계산한다. 이렇게 계산된 공차수요에 따라 계획적으로 시간에 맞춰서 배차하는 방법이다. 표 3.3.4는 수송수요를 차량수요로 변환한 표이며 이를 근거로 역사 도착 차량수와 역사 출발 차량 수를 계산하여 각 역사별 잉여차량 수를 계산하였다. 표에서 보는 바와 2, 3번 역사는 공차가 발생하며, 1, 4번 역사는 공차가 요구된다. 공차배차계획이란 공차가 발생하는 역사에서 공차가 요구되는 역사로 공차를 배차하는 것이다. 표 3.3.4에서는 2번 역사에서 10대가 발생하므로 1번 역사에 10대를 공급하고 3번역사는 60대가 발생하므로 1번 역사에 30대 4번 역사에 30 대 공차를 공급한다. 따라서 공차 배차 계획은 표 3.3.5와 같이 수립된다. 일반적으로 $_j$ 를 역 에서 역j로 가는 시간당 차량의 수요라고 할 때 시간당 역 i 출발 차량 수D_i 와 시간당 역 i 도착 차량 수 A_i는 식 (3.3.22) 및 (3.3.23)과 같다. 만약 A_i > D_i 이면 잉여 공차가 생겨 다른 역사에 공차를 공급할 수 있고 시간당 역 i의 공차 공급 가능대수, S_i 는 식(3.3.24)와 같다. D_i > A_i이면 공차를 공급받아야 한다. 역 i의 필요 공차 수를 U_i라 하면 U_i는 식 (3.3.25)과 같다. 공급 역사 수를 N 필요 역사 수를 N_U 로 하고 역 i에서 역j로 가는 시간당 차량의 수를 E_{ij} 라 하면 S_i, D_i는 식(3.3.26), (3.3.27)로 표현된다. 여기서 T_{ij} 를 공차가 역 i에서 역j로 가는 데 소요되는 시간으로 정의한다면 $E_{ij} \cdot T_{ij}$는 역 i에서 역 j로 가는 공차 주행시간의 합이다. 공차관리의 목적은 모든 공차에 대하여 이러한 합을 모두 합한 값, 즉 식 (3.3.28)의 F_E가 최소가 되는 조합을 찾아서 공차 배차 계획을 작성하는 것이다. 실제는 T_{ij}에 주행시간 대신 주행거리를 적용하였고 i를 선정한 후 j는 T_{ij}가 최소가 되는 최적경로를 탐색하여 i 및 j 조합을 선정하였다. 이는 실제 주행 시간이 경로의 트래픽에 따라 변하므로 사전에 공차배차계획을 수립하기 어렵기 때문이다.

$$D_i = \sum_{j \neq i} N_{ij} \tag{3.3.22}$$

$$A_i = \sum_{j \neq i} N_{ji} \tag{3.3.23}$$

$$S_i = A_i - D_i \tag{3.3.24}$$

$$U_i = D_i - A_i \tag{3.3.25}$$

$$S_i = \sum_{j=1}^{N} E_{ij} \qquad (i = 1, \ldots N_S) \tag{3.3.26}$$

$$U_i = \sum_{i=1}^{N_S} E_{ij} \qquad (j = 1, \ldots N_U) \tag{3.3.27}$$

$$F_E = \sum_{i=1}^{N_S} \sum_{j=1}^{N_U} E_{ij}\, T_{ij} \tag{3.3.28}$$

<표 3.3.4> 차량 배차 및 발생되는 공차 수요

출발지 역사	도착지 역사	차량 수요	출발 차량수	도착 차량수	잉여 차량수
1	2	40	150	110	-40
	3	50			
	4	60			
2	1	30	120	130	10
	3	40			
	4	50			
3	1	20	90	150	60
	2	30			
	4	40			
4	1	60	180	150	-30
	2	60			
	3	60			
계		540	540	540	0

<표 3.3.5> 표 3.3.4에 대응한 공차 배차 계획

출발지 역사	도착지 역사	공차배차 수
2	1	10
3	1	30
3	4	30

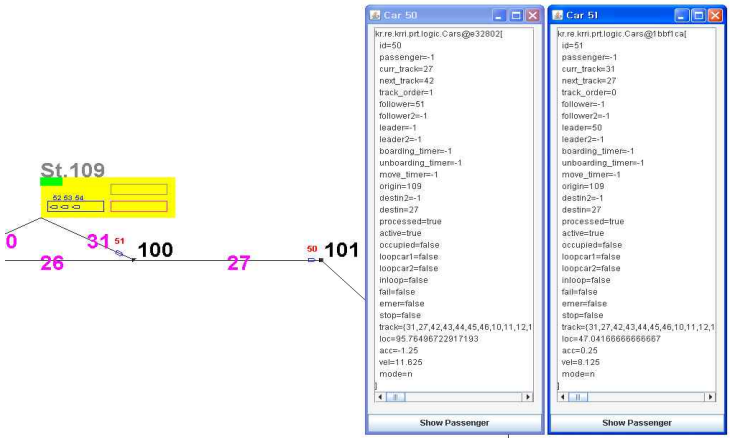
(2) 루프 차량의 배차

공차 수요를 만족시키기 위해 공차 계획배차 만으로는 공차 공급에 한계가 있다. 그것은 각 역사에 들어오는 차량 중 승객 수요를 뺀 차량 수만큼 만 공차로 공급할 수 있다는 것이다. 따라서 전체 역사에 배치된 차량 수가 절대적으로 적다든가 출퇴근 시간대처럼 공차가 많이 필요한 경우에는 공차 수요를 만족시킬 수 없다. 이에 대비한 방법이 소위 루프(loop) 차량의 공급이다. 이는 역사 외에 차량기지와 같은 곳에 다수의 공차를 보유하고 있다가 어느 지역에 공차수요가 증가하면 그 지역에 루프 차량을 공급하는 방법이다. 루프 차량이란 목적지 없이 일정한 루프를 계속 돌고 있는 차량을 의미한다. 어느 역사에서 대기승객이 증가하기 시작하면 이 루프 차량의 배차를 중앙제어컴퓨터에 요구하며, 중앙제어컴퓨터는 해당 역사에 가장 가깝게 위치한 루프차량에게 역사로 진입하라는 지시를 한다.

(3) 시뮬레이션에서 공차관리

(가) OD 수요 분석에 따른 공차 계획배차

아래 그림 에서 차량 50과 51이 승객을 태우지 않고 역 109를 떠났다. 차량 50 및 51의 속성을 보면 탑승 승객 ID는 각각 -1로 되어 있다. 즉 승객이 없음을 나타낸다. 차량 50의 목적지는 역사 27이고 차량 51의 목적지 역시 역사 27로 되어 있다. 이것은 위의 (1) 항에서 설명된 공차 계획배차의 결과이다.



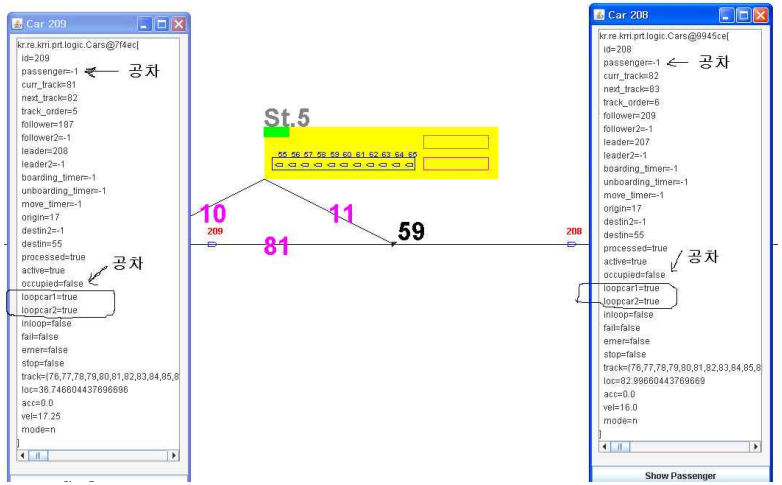
<그림 3.3.57> 공차계획배차(차량 50 및 51이 승객 없이 역사 27로 향함)

(나) 루프 차량 배차

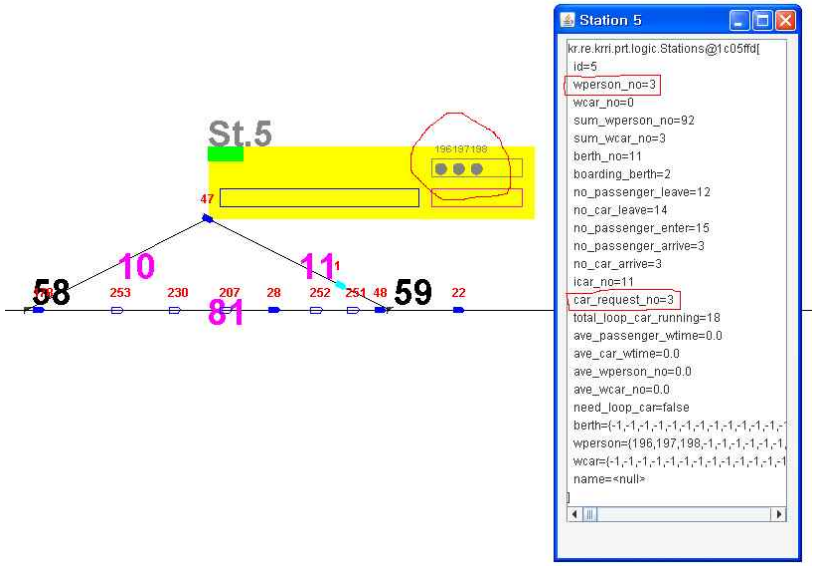
위에서 설명된 바와 같이 Loop Car란 출퇴근 시와 같이 급격한 수송수요(OD)의 쏠림에 대비하여 수요 집중지역의 Loop에 공차를 배차하여 그 loop를 계속 순환 운행하게 하는 것이 Loop_car 배차계획이다. Loop car는 일반역사에서 운용할 수도 있으나 차량기지에서 많은 수의 차량을 유지하는 것이 더 효과적이다. 아래 그림 3.3.58에서 차량 208, 209는 loop_car 이다. Loop_car의 속성을 보면 loop_car1 및 loop_car2가 'true'로 설정되어 있고 passenger_no가 -1이다. 즉 passenger이 없다는 뜻이다. 또한 목적지 node 번호가 역사 이외의 node를 가리킨다(여기서는 노드 55임).

(다) 공차 응답

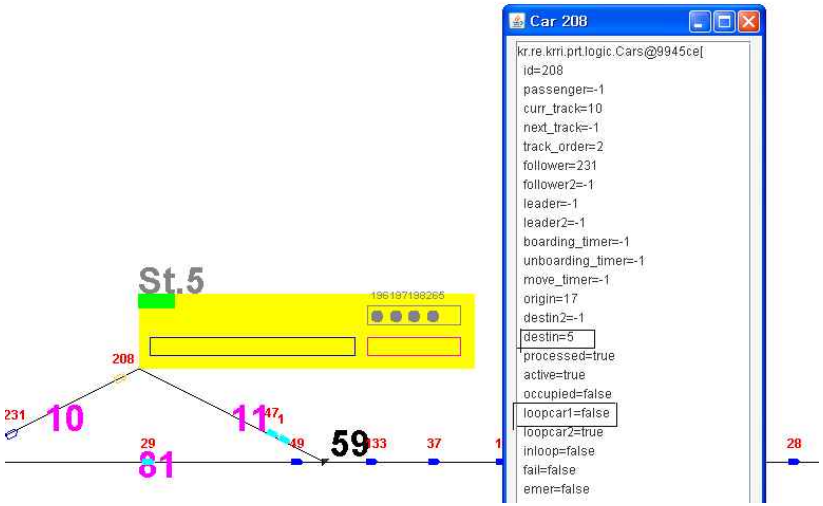
역사에서 공차 call 시 가장 가까운 순환 운행 중인 공차가 응답한다. 그림 3.3.58에서 차량 208, 209는 loop_car이다. 이 경우 Passenger no는 -1이고 loop_car1 및 loop_car_2는 'true'로 설정된다. loop_car가 역사 call에 의해 특정역사로 진행할 경우 loop_car_1은 'false'로 바뀐다. 다음 절차로 역사 5는 대기승객(w_person_no)이 3명이 되었고, 역 내에 차량이 없으므로 중앙제어 컴퓨터에 Loop_car 배차를 3대 요청한 상태이다(그림 3.3.59 참조). 다음 loop_car 208이 call에 호응하여 역사 5로 들어온다. 그림 3.3.60에서 차량 208의 속성을 살펴보면, loop_car1이 'false'로 바뀌었다. 이것은 loop_car이지만 역사 call에 호응하여 특정역사로 진행 중 임을 가리킨다.



<그림 3.3.58> 공차 상태(공차 : 차량 208 및 209)



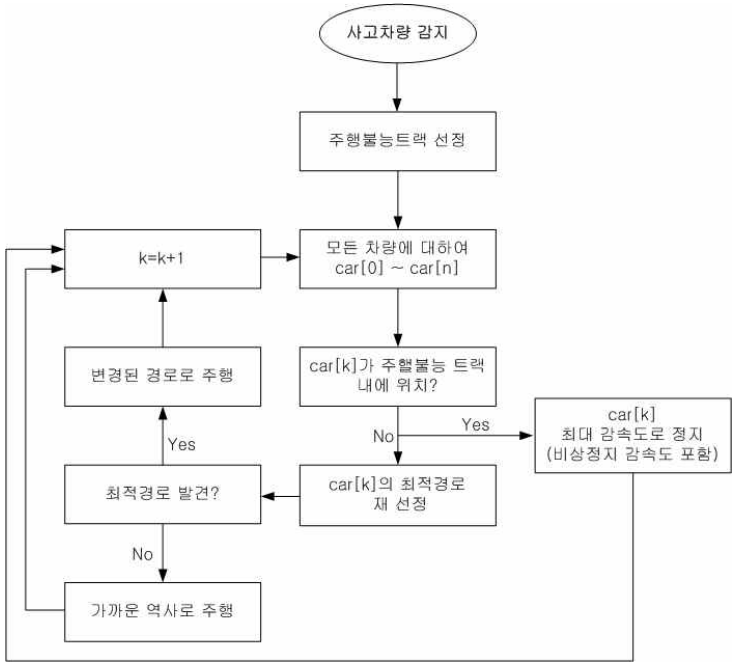
<그림 3.3.59> 공차 요청(역사 5에서 3대의 loop_car 요청)



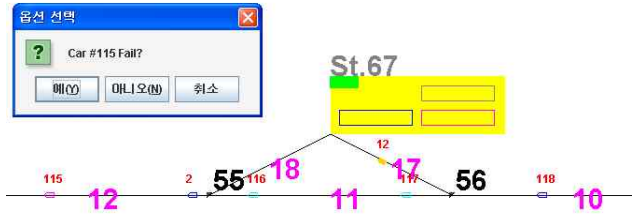
<그림 3.3.60> 공차 배차(차량 208이 loop_car call 요청을 받고 역사 5로 들어가고 있음. 이 경우 목적지 역사는 5로 바뀌고 loopcar1은 'false'로 바뀜)

라. 비정상 상태 모의(차량 사고)

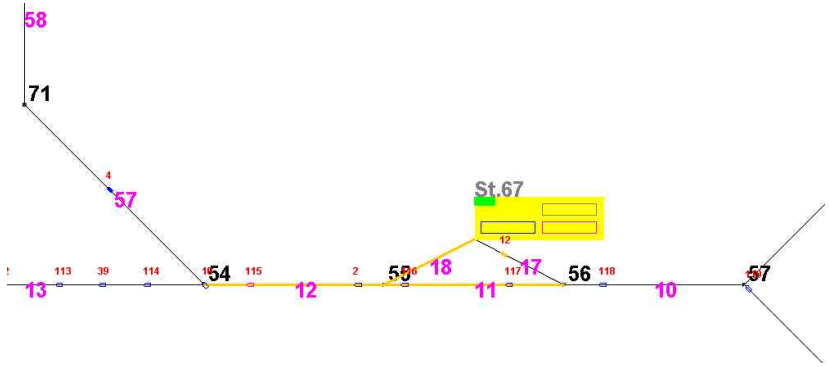
비정상상태의 모의로 차량의 주행 중 사고를 모의할 수 있다. 시뮬레이션에서 정의되는 차량의 주행 중 사고란 차량이 최대사고 감속도로 주행하는 것이며 이 값은 사용자에 의해 입력 데이터로 주어진다. 차량 사고의 감지는 사고 정도에 따라 다를 수 있다. 작은 사고의 경우 사고차량으로부터의 사고보고 일수도 있고 차량의 통신기능이 불가할 경우는 중앙제어컴퓨터에서 비정상적 통신에 의해 감지될 수 있다. 어느 경우든지 사고의 감지는 통신 latency time(0.1초가 적용됨) 이내에 이루어져야 한다. 중앙제어 컴퓨터는 사고 감지 후 동일 트랙 내에 주행하는 모든 차량을 비상정지 시키고 노선의 구조상 사고 트랙으로만 이어지는 모든 트랙에 대해서는 주행 불능 트랙으로 설정한다. 주행 불능 트랙을 주행 중인 차량은 비상정지 감속도까지 고려하여 신속히 정차시킨다. 다른 모든 차량에 대해서는 주행 불능 트랙을 제외하고 최적경로선정를 재 실시한다. 이 경우 최적경로를 발견할 수도 있고 목적지 역사가 사고트랙을 거치지 않고는 갈 수 없어서 최적경로가 없을 수도 있다. 후자의 경우에 속하는 모든 차량은 가장 가까운 역사로 목적지를 바꾸어 주행하도록 되어 있다. 그림 3.3.61은 사고정지 차량 발생 시 차량 운행제어 알고리즘이다. 그림 3.3.62는 시뮬레이션 중 사고차량발생 모의방법을 보여준다. 원하는 차량을 클릭하면 그림 3.3.62와 같이 옵션선택차이 뜨고 계속해서 '예'를 클릭하면 선택된 차량은(그림 3.3.62 에서는 차량 115) 사고감속도로 감속하기 시작한다. 차량 115의 사고가 감지되면 중앙제어컴퓨터는 그림 3.3.63과 같이 연관된 트랙 12, 11, 18이 주행불능 트랙으로 설정되고(황색표시부분), 이 후 주행경로 선정 시 이 3 트랙은 제외된다. 주행불능 트랙을 설정하고 모든 차량의 운행 제어는 그림 3.3.61의 알고리즘에 의해 수행된다.



<그림 3.3.61> 사고정지 차량 발생시 차량 운행제어 알고리즘



<그림 3.3.62> 시뮬레이션 중 사고차량 발생 모의



<그림 3.3.63> 사고차량 발생에 따른 주행불능 트랙설정

마. 사용자 입력

그림 3.3.64의 'Read_System_Data' 는 사용자 입력을 수행하는 프로시저이다. 사용자 입력은 그림 3.3.64와 같은 텍스트 파일에 해당 데이터를 지정한 위치에 입력함으로써 수행된다. 1, 2 번째 줄은 주석으로 결과물 출력 시 상단에 그대로 출력되며 프로그램 수행에는 영향을 주지 않는다. 4 번째 줄에는 시스템 차량의 재원을 입력한다. 여기에는 최대 가속도, 최대 감속도, 최대 저크, 최대 사고감속도, 최대 비상감속도, 차량길이가 포함된다. 6번째 줄에는 시뮬레이션시간, 승차타이머 값, 하차타이머 값 및 승강장 간 차량이동 시간을 나타내는 이동타이머 값을 입력한다. 8번째 줄부터는 각 역사별로 역사의 좌표 값, 승강장 수, 초기 배차되는 차량 수, 승차용 승강장 수를 넣는다. 14줄 째부터는 역사 외 각 노드의 타입 및 위치, 22번째 줄부터는 각 트랙의 시작 노드, 끝 노드 및 트랙의 제한속도를 입력하며 31번째 줄부터는 수송수요 데이터를 입력한다.

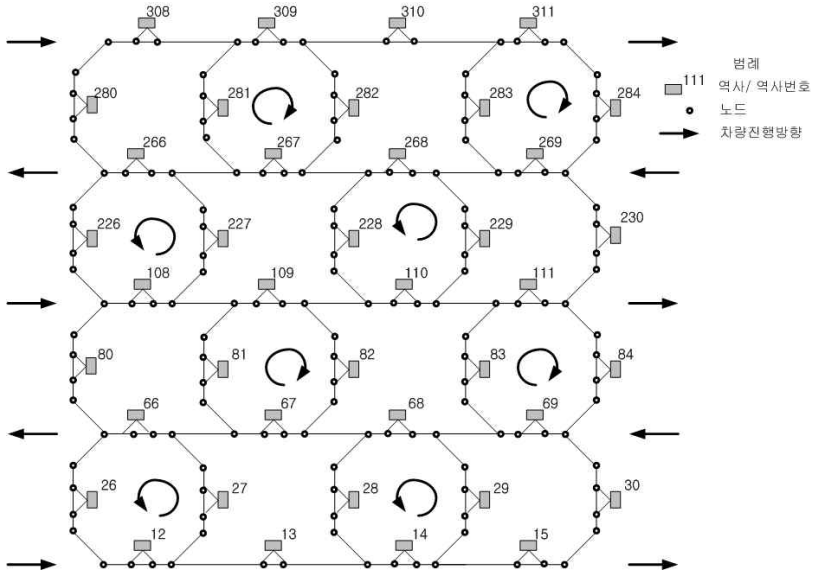
```
1 // case 상암, 2016
2 // 버스노선 폐지
3// Acc   Dcc   Jerk    Max_fail_dcc   Min_emer_dcc  Car_length begin_parameter
4// 2.5    -2.5   1.25    -4.0             -5.0              2.5
5// Time      boarding unboarding move begin_simulation_data
6// 3900      10          10             5
7// Node      X       Y    berth_no   icar_no  boarding_berth begin_station_data
8// 0         1500    830    5          5          2
9// 1         1700    1130   5          5          2
10// 2        1400    1130   5          5          2
11// ----------이 하 생 략 ------------------------
12// -999
13// NodeType       X       Y       begin_node_data
14// 12         n       0       200
15// 13         d       640     200
16// 14         m       760     200
17// 15         m       1200    200
18// 16         d       1340    200
19// ---------- 이 하 생 략  ---------------------
20// -999
21// from       to      limit    begin_track_data
22// 56         0       30
23// 0          57      60
24// 32         1       30
25// 1          33      60
26// 34         2       60
27// 2          35      30
28// ---- 이 하 생 략 -------
29// -999
30// from       to      num/hour     begin_od_data
31// 1          2           125
32// 1          3           158
33// 2          1           | 10
34// 2          3           240
35// 2          4           298
36// --- 이 하 생 략 -------
37// -999
```

<그림 3.3.64> 사용자 입력 파일(서울 상암DMC 사례)

바. 시뮬레이터 응용 사례

(1) 4x4 loop 운행제어 성능 시험

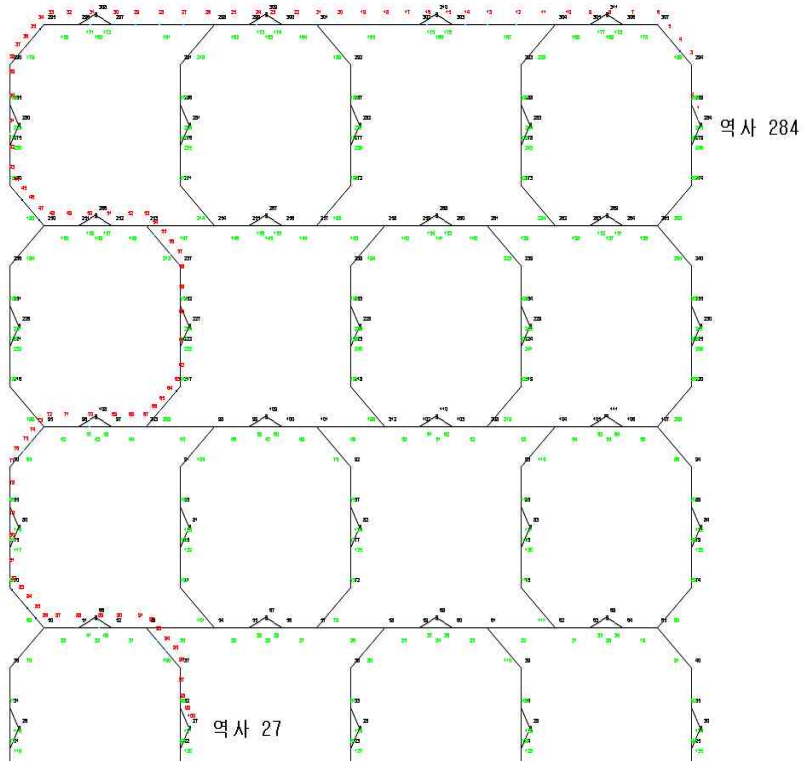
시험트랙은 그림 3.3.65와 같다. 과제 목표에서 제시된 바와 같이 4 loop x 4 loop 트랙으로 구성하였다. 1개 loop는 사방 약 500m이므로 전체 네트워크는 사방 2 km 정도이다. 각 변의 중심에 역사를 위치하였으므로 승객은 최대 250m 이내에 역사에 접근할 수 있다.



<그림 3.3.65> 시험 트랙

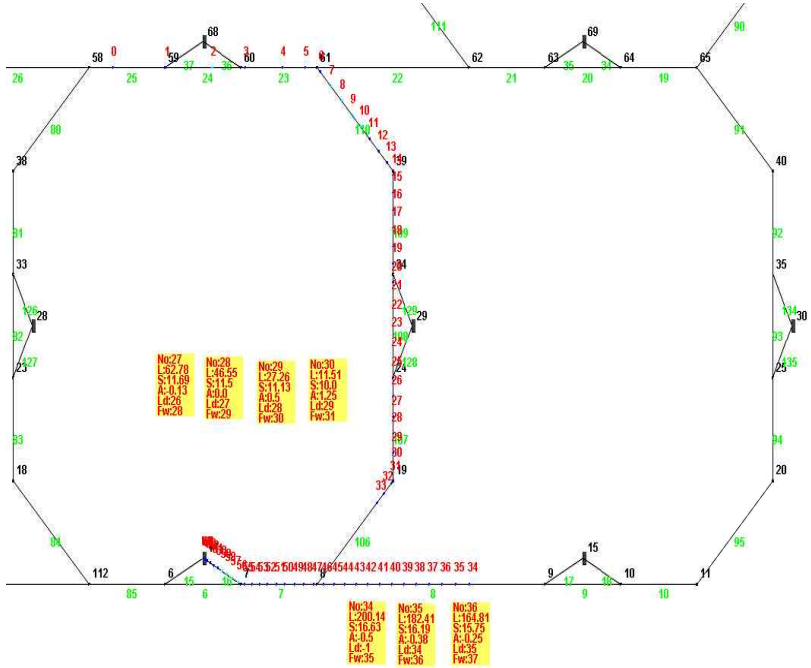
시험차량의 제원은 최대운행 가속도 1.5 m/s/s, 최대운행 감속도 -1.25 m/s/s, 최대 허용 jerk 1.25 m/s/s/s, 최대 사고 감속도 -2.5 m/s/s, 최소 비상 감속도 -4.0 m/s/s, 차량 길이 2.5 m 로 가정하였다.

최단거리 루트 선정 알고리즘 동작을 확인하기 위하여 역사 27에서 역사 284로 매 4초마다 차량을 배차하여 루트를 확인하였다. 그림 3.3.66과 같이 최단거리 루트가 선정됨을 확인하였다.



<그림 3.3.66> 최단거리 루트 선정(역사 27->역사 284)

역사 14에서 역사 28로 매 4초마다 차량을 배차하여 루트 선정 결과를 검토하였다. 최단거리는 그림 3.3.67 에서 0~33 번 차량의 진행 루트와 같이 노드 19, 21을 경유하여 역사 28로 가는 것이나, 운행비용을 고려하여 차량 34 부터는 노드 20, 40, 62, 61을 경유하여 역사 28로 가는 루트가 선정되었다(그림 3.3.67). 그림의 박스 내에서 No는 차량번호, S 는 차량 속도를 가리킨다. 예상되었던 대로 차량 27~30의 평균속도는 11.2 m/s 이고 차량 34~36의 평균속도는 16.2 m/s로 최단거리 루트보다 최소 비용 루트의 차량 속도가 훨씬 빠르게 나타났다.



<그림 3.3.67> 최소비용 루트 선정(역사 14->28)

(2) 역사 규모 산정

서울 상암DMC 지역을 가상의 시험노선으로 선정하고 시뮬레이션을 수행하여 시험노선의 수송능력을 분석하였다. 분석의 목적은 수송수요를 만족하는 역사규모 및 소요차량수를 도출하는 것이다. 수송 수요를 만족한다는 판단의 척도는 모든 역사에서 승객의 최대 평균대기시간이 200초 미만으로 가정하였다. 차량의 재원 및 시뮬레이션 조건 부분은 그림 3.3.64의 사용자 입력 부분과 같고 노선 데이터 및 수송수요는 상암 지역을 가정하였다. 그림 3.3.68은 시험노선 및 역사위치를 나타내고 표 3.3.6은 시간당 수송 수요를 나타낸다. 맨 처음 각 역사에 승강장 3개와 초기 차량을 3대 배치하고 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3.3.69는 시뮬레이션 분석결과이며 각 역사의 승강장 수, 총 차량 대수 및 각 역사별 승객 평균대기시간을 보여준다. 분석 결과 총 차량대수는 36대이며 6번 역사에서 승객 평균대기시간이 622초이므로 각 역사별로 승강장 수와 초기 배치차량 수를 5대로 증가하였다. 분석결과는 그림 3.3.70과 같으며, 총 차량대수는 60대이고 최대승객평균대기시간은 4번 역사에서 192초이다. 10대의 루프 차량을 추가 배치하여 다시 시뮬레

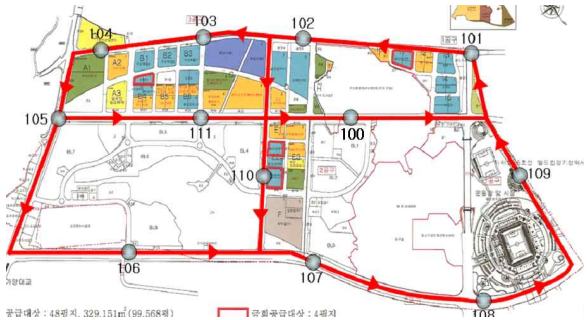
이션을 수행한 결과는 그림 3.3.71과 같으며, 총 차량대수가 70대이고 평균승객대기시간은 9번 역사에서 27초로 분석되었다. 표 3.3.7은 각 케이스별 시뮬레이션 결과의 요약이다. 물론 이 결과는 최적화된 결과가 아닐 수 있다. 결론적으로 요구되는 역사 최대 승객 대기시간을 200초 미만으로 가정할 경우, 각 역사의 승강장 수는 5개이며 총 차량 소요수는 60대로 나타난다(표 3.3.7 참조).

<표 3.3.6> PRT수송수요 OD(서울 상암DMC 지역)

PRT 수송수요 (2021년), 통행량/hr													
	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	100	계
101	-	7	8	137	1	0	0	0	0	0	1	4	159
102	0	-	13	16	23	8	0		0	1	3	3	68
103	1	0	-	9	16	6	3	4	3	3	4	1	50
104	107	0	0	-	14	6	6	4	3	46	28	3	217
105	0	2	0	0	-	3	6	8	5	0	23	64	111
106	0	1	0	0	-	-	10	13	7	0	0	5	36
107	0	1	1	1	0	-	-	10	16	0	0	3	32
108	8	2	8	4	2	0	-	-	4	0	0	0	28
109	30	11	31	20	9	1	0	-	-	0	0	0	101
110	1	0	0	1	0	-	11	22	2	-	0	0	38
111	1	0	0	0	-	-	4	2	2	53	-	20	82
100	65	13	1	1	4	2	0	0	-	12	1	-	99
계	213	37	63	188	69	25	41	62	41	116	61	103	1019

<표 3.3.7> 시험노선 차량소요대수 및 역사규모 분석결과

Case	총 차량 소요대수	최대 승객 평균 대기시간	역사규모
각 역사 3대 차량 배치	36	622	승강장 3개
각 역사 5대 차량 배치	60	192	승강장 5개
루프 차량 10 대 추가 배치	70	27	승강장 5개



<그림 3.3.68> 시험노선(서울 상암DMC 지역)

<그림 3.3.69> 시뮬레이션 결과(상암DMC, 차량 36대)

할 수
==========
.

<그림 3.3.70> 시뮬레이션 결과(상암DMC, 차량 60대)

==========

	평균 대기 승객	평균 대기 시간	평균 대기 차량	평균 대기 시간
	0.0	3.0	0.0	0.0
	0.0	10.2	0.0	0.0
	0.0	4.2	0.0	0.0
	0.0	1.7	0.0	0.0
	0.0	6.1	0.0	0.0
	0.0	16.3	0.0	0.0
	0.0	1.5	0.0	0.0
	0.0	1.0	1.0	0.0
	0.0	1.1	0.0	0.0
	0.0	26.9	0.0	0.0
	0.0	4.0	0.0	0.0
	0.0	14.7	0.0	0.0

<그림 3.3.71> 시뮬레이션 결과(상암DMC, 차량 70대)

본 시뮬레이터는 응용 예에서 보이듯이 시스템의 기본 설계 시 요구되는 주요 설계요소 즉 역사 위치 및 규모, 노선 선정, 소요차량대수 판단을 위한 분석 툴로 이용될 수 있다. 시스템의 하드웨어 및 인프라 못지 않게 공차관리 등의 소프트웨어적 운행 알고리즘도 수송처리 능력을 크게 좌우한다. 본문에서는 기본적인 공차관리, 루프 차량의 관리 등에 대해 논의하였지만 최적화는 논의되지 않았다. 공차관리의 최적화 알고리즘은 전체 시스템 수송능력을 크게 좌우하므로 향후 지속적으로 개발되어야 될 것으로 사료된다.

3. 정류장 용량산정 시뮬레이션

1960년대 미국에서 PRT(Personal Rapid Transit)이 처음 소개된 이래 교통전문가들 사이에서는 많은 찬반 논란의 가장 핵심이 되는 쟁점은 PRT가 다른 고정 궤도 대중교통수단에 비해 처리용량에 있어 불리하다는 점이나, 이러한 비판의 당사자들도 구체적으로 PRT 용량에 대한 해답 없이, 단지 직관에 의존한 주장을 펼쳐온 것이 사실이다.

특히, 최근 국내에서 PRT에 대한 관심이 고조되고 많은 연구가 시행되고 있으나, 시스템의 기계적 구현에 집중한 나머지 PRT의 운영 서비스 수준에 대한 체계적인 연구가 부재한 실정이다.

초기 PRT 제안자들은 시뮬레이션을 통해 PRT 처리용량에 대한 연구를 발표한 바 있으나, 그 당시 전산 구동능력의 한계로 인해 포괄적인 연구가 이루어 지지 않아 아직도 PRT 처리용량에 대한 논란이 남아있다. 예를 들어, 현대적인 시뮬레이션 분석의 경우 입력요인들의 무작위성에 의한 변동을 충분히 고려하기 위해서 랜덤 시드(Random seed) 값을 바꾸어 가며 충분한 시뮬레이션 수행 횟수를 확보하는데, Irving 등의 연구에서는 최소 4회 시뮬레이션 시행의 평균값을 최종결과로 제시하는 신뢰도의 한계를 보인다.

PRT 체계의 전체 성능은 크게 세 가지 단위 용량에 의해 결정된다고 볼 수 있다.

① 첫째로, 본선(on-line)의 차량 통과 용량에 대한 고려가 필요하다.

Anderson에 의하면 동기식 제어의 경우 본선의 최소 차두시간은 0.5초 이하로 줄일 수 있다고 주장한다. 최소 차두시간 0.5초를 인정한다면 본선의 한 시간 통과 차량 용량은 7,200대 수준으로, 이는 어느 특정 구간에 집중되는 차량 통행 수준으로는 매우 높은 값이다. 이 수준을 상회하는 차량 통행이 본선의 특정구간에 집중될 수도 있지만 빈도가 높지 않으며, 만약 이런 상황이 자주 발생한다면 네트워크 구조를 통해 개선해야 하는 것이 타당하다. 그러므로, 사전에 효율적인 네트워크 구조를 설계했다면, 전체 PRT 용량

의 결정요소가 본선 용량에 있다고 보기 힘들다.

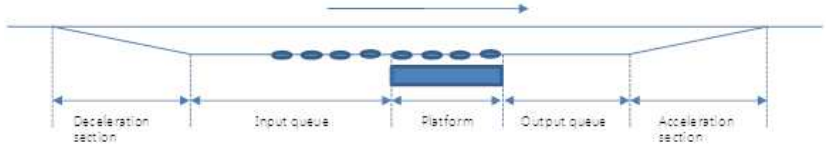
② 두 번째 고려할 단위 용량은 본선 합류부의 용량이다.

대부분의 비동기식 운행전략에서도 합류부에서는 동기식 제어를 채택하기 때문에, 합류부 용량 또한 상당히 높은 편이다. 일반적인 PRT 체계에서는 동시에 두 개 링크이상의 합류를 허용하지 않으며, 어떠한 차량진입 우선순위 전략을 선택하는가에 따라 다를 수는 있으나, 합류 시 두 합류링크의 통과량이 합류 후 본선 용량보다 적은 수준이어야 한다. 다만, 합류 후 하류 링크의 수용 능력을 초과하는 차량 수요가 집중될 경우, 상류 링크로부터 대기행렬 형성이 불가피하다. 이러한 용량 초과 현상을 막기 위해서는 사전에 수요 패턴에 근거하여 합리적인 네트워크 설계를 구현하는 것이 타당하다. 반면, 일시적인 수요 증대로 인해 운행 중에 대기행렬이 생성될 경우 경로의 재탐색을 통한 차량들의 우회 처리가 가능하다.

③ 마지막으로, PRT 전체용량의 결정에 가장 영향이 큰 단위용량은 정류장 용량이라 할 수 있다.

PRT 정류장 용량은 다수의 영향요소에 의해 복합적으로 결정되며 단순 계산으로 산정할 수 없으므로, 이를 산정하기 위해서는 차량과 승객을 단위 객체로 다루는 미시적인 시뮬레이션 접근방법이 유일하다. 가장 기초적인 구조의 PRT 정류장인 단순 직렬 정류장을 대상으로 3가지 용량 결정요소, 즉 통행수요, 정류장 구조, 정류장 운영전략에 따른 정류장 용량수준을 분석한다.

본 절에서는 단순직렬 PRT 정류장에 대한 운행 시뮬레이터를 개발하고, 이를 이용하여 다양한 결정요소 조합에 따른 정류장 용량 수준을 제시한다. 승강장 정차대, 진입대기공간, 방출대기공간의 크기 수준에 따라 도착차량 및 출발승객에 대한 최대 처리용량을 산출하고, PRT 운영의 중요한 서비스 요소인 차량 거부율과 승객 대기시간을 분석한다. PRT 정류장 용량의 결정요소를 도출하고 이들의 상호관계에 대한 개념틀(Conceptual framework)을 구성한다. 구성된 개념틀에 따라 개발한 시뮬레이터를 이용해 산출한 용량 산출 결과를 다양한 경우에 대해 제시하고, 결과를 도출하고 향후 연구과제를 제시한다.



<그림 3.3.72> 단순 직렬 PRT 정류장 예시

가. 용량 결정요소 분석

- PRT 정류장 용량의 정의는 두 가지로 구분할 수 있다.
- 첫째는 정류장으로 진입하는 재차의 처리능력이다.
- 재차처리 용량을 산정할 때 동시에 고려해야 할 필수요건이 거부율이다.
- 거부율은 승객을 싣고 도착예정 정류장으로 진입해야 할 차량이 해당 정류장의 대기공간 부족으로 진입하지 못하고 우회하는 비율로 정의한다.
- 또 하나의 용량개념은 출발승객의 처리능력이다.
- 얼마나 많은 승객을 출발 시킬 수 있는가는 승객의 대기시간과 함께 고려해야 한다.
- 두 용량 개념인 재차처리용량과 승객처리용량은 상호 종속적으로 결정되는 바, 다양한 결정요소의 조합에 따라 상호관계를 파악하는 것이 중요하다.
- PRT 정류장에 있어 두 용량개념을 결정하는 요소들은 교통수요조건, 물리적조건, 운영조건의 세 가지로 구분할 수 있다.

교통수요조건	물리적조건	운영조건
차량도착수요	진입대기공간	차량군 운영
승객출발수요	승차대수	승/하차시간 분포
공차공급수준	방출대기공간	차량군 이동속도
본선통과차량	차량 감가속율	동기식/비동기식
차량도착/승객 출발 비율	본선 차두시간	

재차처리용량 **승객처리용량**

<그림 3.3.73> PRT 용량 결정 요소

(1) 교통수요 조건

- PRT 정류장 용량은 다양한 교통조건에 따라 영향을 받을 수 있는데, 그 중 재차의 도착수요와 승객의 출발수요가 지배적이다.
- 본 연구에서는 전체 수요를 고정시키고 두 가지 수요의 비율에 따른 처리용량을 계산한다.
- 승객출발 수요가 재차 도착수요보다 클 경우, 본선 상에서 호출할 수 있는 공차의 공급 수준이 승객처리용량에 영향을 미친다.
- 반대의 경우 재차의 정류장 진입거부가 관건이 된다.
- 본선의 통과차량이 많을 경우에는, 정류장에서 승객을 싣고 출발한 차량이 본선에 진입하지 못하고 방출대기공간에 멈추는 경우가 발생할 수 있고 정류장 용량에 영향을 줄 수 있다.

(2) 물리적 조건

- PRT 정류장의 물리적 요소는 본선조건, 차량조건, 정류장 조건으로 구분할 수 있다.
- 본선의 최소차두시간 및 차량의 감가속 능력은 정류장 가감속 구간 설정에 결정적인 역할을 한다.
- 본 연구에서는 본선 최소차두시간을 0.5초, 차량 감가속율을 2.5m/s2로 가정하였다.
- 본 연구의 주 관심사는 승강장 정차대와 대기공간의 규모에 따라 정류장 용량이 어떻게 변화하는가에 있으므로, 차량에 대한 최대허용 저크(jerk)는 고려하지 않는다.
- 방출대기공간의 규모는 승강장 정차대 수와 같은 수로 가정하였고, 진입 대기공간의 규모는 항상 승강장 정차대 수보다 많게 가정하였다.
- 다양한 조합의 승강장 정차대 수와 진입대기공간 규모에 대해 정류장 용량을 산정하였다.

(3) 운영 조건

- Irving 등은 PRT 정류장 구간 내에서는 차량군(Platoon) 운영이 효율과 안전 측면에서 유리하다고 주장하였다.
- 개별 차량 단위로 정류장 구간내에서 이동하게 되면 승객이 승차 또는 하차중인 차량의 후미에 진입차량이 정지해야 하기 때문에 안전상에 큰 부담을 갖게 된다.

- 이러한 맥락에서 본 연구에서도 정류장 구간의 차량 이동은 차량군(Platoon) 운영을 기본전제로 하여 연구한다.
- 최소차두시간은 0.5초로 가정하였고 온라인 속도는 9 m/s로 설정하여 슬롯 단위는 4.5 m를 채택하였다.
- 진입대기 정차대로 진입하는 차량의 감속도와 방출대기 정차대에서 본선으로 빠져나가는 차량의 가속도는 2.5 m/s^2를 기준으로 분석하였다.
- 정류장 구간 내 차량군 이동속도는 6.6m/s로 가정하였고, 차량 길이는 3m로, 차량군내 차간간격은 30cm로 가정하였다.
- 차량군 이동전략에는 두 가지 세부전략이 있는데, 첫째로 대기공간에서 승강장 정차대 수만큼의 차량이 확보된 후에 차량군을 이동시키는 전략(전략A)과, 둘째로 승강장에 승객수요가 있다면 승강장 정차대 수보다 적은 수의 차량이 진입 대기공간에 있더라도 차량군을 승강장으로 이동시키는 전략(전략B)이 있다.
- 본 연구에서는 두 세부전략을 구분해서 분석할 수 있도록 시뮬레이터를 개발하였다.

나. 알고리즘 개요

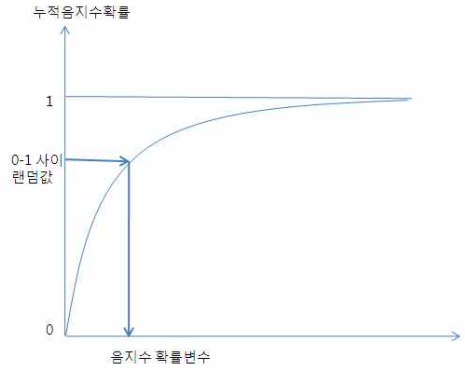
PRT 정류장 운영 시뮬레이터는 개별 차량과 승객을 요소(agent)로 하여 개별 거동을 추적하는 방식을 채택하였다. 전체적으로 시뮬레이션의 진행은 시간 구동방식을 적용하였고, 일부 단위 모듈의 구현에 있어서는 이벤트 구동방식을 채택하였다. 프로그램 개발에 대한 세부설명은 생략하고 핵심 객체에 대한 구동 논리와 알고리즘에 대해 간단히 서술한다.

(1) 승객 도착

승객의 도착 시간간격은 음지수 분포에 따른다고 가정하고 이벤트 구동방식의 시뮬레이션모듈을 작성하였다. 즉, 랜덤 넘버 발생 후, 승객 도착 시간간격의 누적분포 식(3.3.29)를 이용하여 주어진 승객 수요에 따른 승객 도착 패턴을 생성하였다.

$$P(h<t)=1-e^{-t/T} \tag{3.3.29}$$

여기서, h는 승객도착간격, t는 시간변수, T는 주기(=1/평균승객수요)를 나타낸다.



<그림 3.3.74> 음지수확률변수 도출 구조

전체 시뮬레이션 구동 시간단위를 본선 차두시간인 0.5초로 설정하였으므로 입력한 평균 승객도착율이 높을 경우, 0.5초보다 짧은 승객도착간격이 생성이 될 수 있다. 이 경우 생성된 승객도착간격의 합이 일정시간 이상이 될 때까지 승객도착을 누적시켜서 고밀 승객도착을 구현할 수 있도록 하였다.

(2) 차량 생성

정류장에 도착하는 재차 및 통과차량의 생성은 진입선 상류의 본선 끝에서 생성하였다. 주어진 평균 차량도착율에 따라 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 무작위 패턴으로 차량을 생성하였다.

통과 차량 중 공차 지정 역시 주어진 공차율에 따라 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 구현하였다. 정류장과 연결되는 전후 일정거리(45m)의 본선 구간에도 동기식 제어를 가정하였으므로 구간을 슬롯 단위로 나누었고, 최초 슬롯의 차량 점유 유무를 통해 차량생성을 처리하였다.

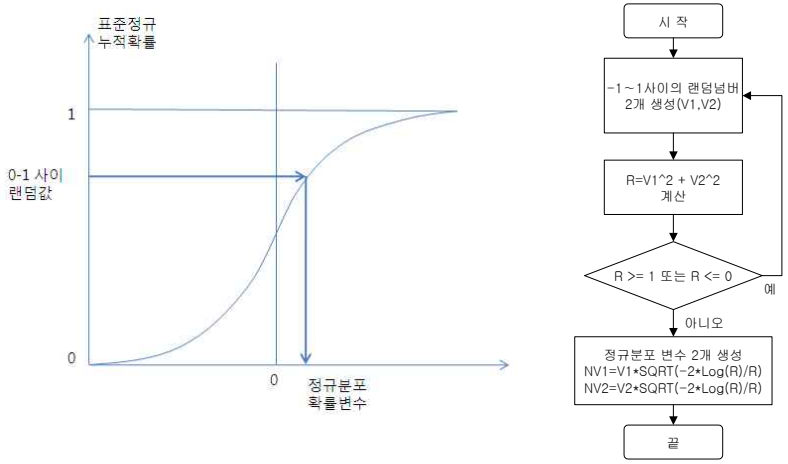
(3) 승객 승하차

승강장에서 승차 또는 하차에 소요되는 시간은 정류장의 용량에 큰 영향을 미치므로, 평균 승하차 시간과 더불어 그 분산까지 고려해서 시뮬레이터를 작성 하였다. 차량 승하차 시간의 분포는 로그정규분포에 따르는 것으로 알려져 있다. 로그정규분포는 변량 값이 모두 양수이고 우측 꼬리가 긴 봉우리 모양의 확률밀도를 갖는다. 식 (3.3.30)

$$f(x)=\frac{e^{-[\ln((x-\theta)/m)]^2/(2\sigma^2)}}{(x-\theta)\sigma\sqrt{2\pi}} \qquad (3.3.30)$$

여기서, x는 확률변수, θ는 평균, σ^2은 형상 파라메터, m은 스케일 파라메터이다. 로그정규분포의 기본 개념은 어떠한 변량에 자연로그를 취한 값이 정규분포에 따른다는 전제에 기초한다. 그러므로, 로그정규 변량을 생성하기 위해서는 우선 Box-Muller 방법에 의해 정규 변량을 생성한 후, 역으로 지수함수를 적용하여 로그정규변량을 도출하는 방법을 사용한다.

본 연구에서 로그정규변량을 생성하기 위해 적용한 승하차 조건은 표 3.3.8과 같다. 일반적으로, 목적지 입력을 위한 시간이 포함되므로 승차에 소요되는 시간이 하차시간 보다 길고 분산도 크다.



<그림 3.3.75> Box-Muller 개념 및 알고리즘

<표 3.3.8> 승객 승하차 시간

조 건	시간 (초)	
	평균	표준편차
승 차	10	4
하 차	8	3

(4) 차량 이동

앞서 언급한 바와 같이, 비동기식 제어방식을 채택한 PRT 체계에서도 합류부 및 정류장 구간에서는 동기식 제어를 적용하고 있다. 따라서, 본 연구에서도 정류장 구간 및 진출입부 운영에 대해 동기식 제어 방식을 기반으로 시뮬레이터를 개발하였다.

차두시간을 0.5초로 고정하였으므로, 동기식 제어 원칙에 따라 본선을 비롯해 가감속 구간, 대기공간, 승강장 구간의 슬롯의 크기를 지정속도에 맞게 달리 설정하였다. 본선의 차량 지정속도는 9m/s, 차량 가감속은 2.5m/s2, 정류장 구간 내 차량군 이동속도는 6.6m/s를 기본 조건으로 하였다.

시뮬레이션 프로그램은 사용자가 쉽게 이들 수치를 조정할 수 있도록 개발하였다. 본선 구간과 정류장 구간 모두 슬롯의 점유여부에 따라 차량이동을 구현하며, 특히, 정류장 구간에서 차량진행은 차량군 운행 전략에 따른다.

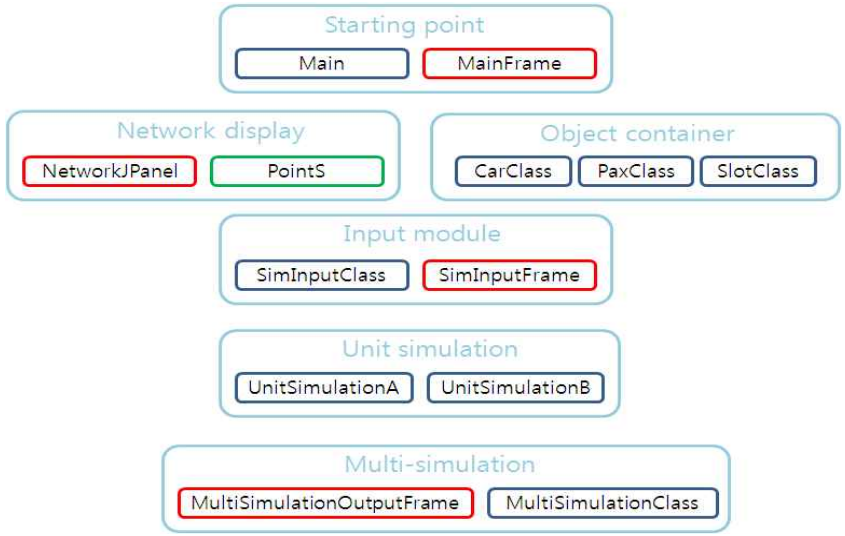
다. 시뮬레이터 개발

(1) 프로그램 목적 및 기능

본 프로그램은 단일 승강장 직렬 PRT(Personal Rapid Transit) 정류장 운영에 대해 미시적 시뮬레이션을 수행하여 용량수준, 거부율(Wave-off rate), 대기시간등 각종 평가지표를 도출하고 PRT 시스템의 실제 적용 가능성을 타진하는 목적으로 개발한다. 범용 PRT 시뮬레이터 개발을 목적으로 하므로 객체지향 설계를 통한 재사용성을 보장한다.

(2) 프로그램 구성

본 프로그램은 전형적인 객체지향 구조를 가지고 설계 되었으며 12개의 사용 Class와 구동 시작점으로서 한 개의 Main Class로 구성된다. Class들은 편의상 6개의 공통 모듈로 분류한다. 즉, 프로그램 구동 시작모듈(Starting point), 네트워크 표출모듈(Network display), 차량, 승객, 슬롯등 기본객체 저장소 모듈(Object container), 입력변수 관리 모듈(Input module), 단위 시뮬레이션 모듈(Unit simulation), 다중 시뮬레이션 모듈(Multi-simuation)의 총 6개의 모듈이 상호 연관된 구조를 가짐. 2차원 실수좌표를 처리하기위해 JDK 정수좌표 Class를 상속한 PointS Class를 별도로 두어 프로그램에서 필요로 하는 모든 좌표의 저장 및 계산을 처리한다. 자료의 입출력은 화면 입출력을 기본으로 한다.



<그림 3.3.76> 프로그램 구성 Class 및 분류모듈 (붉은색은 Java Swing 클래스)

- 프로그램 구동시작 모듈 (Starting point) : 프로그램의 시작 포인트

- 네트워크 표출모듈 (Network display) : PRT 정류장 에니메이션 구동을 위한 테스트 네트워크를 구성하고 표출하는 기능을 제공

- 기본객체 저장소 모듈 (Object container) : PRT 정류장 시뮬레이션의 기본이 되는 단위 객체인 차량, 승객, 슬롯등을 관리 저장하는 기능을 제공

- 입력변수 관리 모듈 (Input module) : 시뮬레이션 입력변수의 저장과 입출력을 담당하는 기능을 수행

- 단위 시뮬레이션 엔진 모듈 (Unit simulation) : 입력변수 관리 모듈에서 건네받은 자료를 기반으로 단위 시뮬레이션을 구동시키는 모듈

- 다중 시뮬레이션 모듈(Multi-simuation) : 입력변수 관리 모듈에서 건네받은 자료를 기반으로 다중 시뮬레이션을 구동시키고 평가지표를 산출하는 기능을 담당

(3) 프로그램 개발환경

본 프로그램은 다음과 같은 환경에서 개발되었다.

■ 개발환경: NetBeans IDE 6.9

■ 자바: 1.6.0_21; Java HotSpot(TM) Client VM 17.0-b16

■ 운영체계: Windows XP version 5.1 running on x86; MS949; ko_KR (nb)

(4) 코드 해석

(가) 프로그램 구동 시작 모듈

① Main 클래스

MainFrame 클래스의 인스턴스를 생성하여 프로그램을 창을 띄우고 프로그램을 시작한다.

② MainFrame 클래스

프로그램 기본 창을 제공하는 클래스로서 메뉴바를 포함하고 네트워크 표출 패널(NetworkJPanel)의 컨테이너 역할을 한다.

(나) 네트워크 표출모듈

① NetworkJPanel

■ 개요

PRT 정류장 네트워크를 생성 표출하는 클래스이다.

■ 상속 또는 구현 클래스

자바 스윙이 제공하는 javax.swing.JPanel를 상속한다.

■ 멤버변수

○ Private 변수

· sc (double) : 화면 축소, 확대를 위한 스케일 변수이다.

· location (PointS), location2 (PointS), location3 (PointS) : 마우스 포인트를 일시적으로 저장하기 위한 포인트 변수들이다.

Btn (int) : 사용자가 클릭한 마우스 버튼(좌, 우, 중앙)을 구분하기 위한 변수이다.

· thisSimA (UnitSimulationA) : 단위 시뮬레이션 클래스 객체로서 정류장내 플래툰 운영전략 "A"에 해당하는 시뮬레이션 처리 변수이다.
thisSimB (UnitSimulationB) : 단위 시뮬레이션 클래스 객체로서 정류장내 플래툰 운영전략 "B"에 해당하는 시뮬레이션 처리 변수이다.

○ Public 변수

· mode (String)
- 메인 프레임(MainFrame) 메뉴바에서 선택된 개별 메뉴를 네트워크 패널(NetworkJPanel)에서 인지하고 구분하기 위한 변수이다.
- 현재 모드는 메인 프레임 하단에 위치한 상태바(statusBar)에 항시 표시된다.

· statusBar (JLabel)
- 현재 마우스 포인트 좌표와 네트워크 메뉴상태를 표시하기 위한 상태바이다.
- 자바 스윙의 JLabel을 통해 구현된다.
- 메인 프레임의 하단에 위치한다.

■ 멤버함수

○ 생성자

· 일반 생성자 : NetworkJPanel()
- 다음 코드의 괄호안 인자를 변경하면 Prt 정류장 네트워크의 배경화면의 변경이 가능하다. imm=Toolkit.getDefaultToolkit().getImage("prt도면.jpg")

· 오버로드 생성자 : 없음.

○ Private 함수

· formMouseWheelMoved(java.awt.event.MouseWheelEvent evt)
- 마우스 휠의 회전에 따라 화면의 확대 축소를 구현하는 함수이다.
- 스케일 변수(sc)의 크기를 증감시켜서 구현된다.
- 마우스 이벤트를 인자로 받는다.

· formMouseDragged(java.awt.event.MouseEvent evt)
- 마우스 오른쪽 버튼을 누른 상태에서 화면을 드래그 할 경우 화면 전체를 마우스가 움직인 거리만큼 이동시키는 기능을 하는 함수이다.
- 마우스 이벤트를 인자로 받는다.

· formMousePressed(java.awt.event.MouseEvent evt)
  - 마우스 오른쪽 버튼이 눌렸을 경우 화면 드래그를 시작한다.
  - 마우스 왼쪽 버튼이 눌렸을 경우, 현재 모드의 요구에 따라 해당 함수를 호출한다.
  - 두 포인트를 필요로 하는 모드에서는 드래그 시작 포인트를 설정한다.
  - 마우스 이벤트를 인자로 받는다.
· formMouseMoved(java.awt.event.MouseEvent evt)
  - 마우스가 움직일 경우 현재 화면상 마우스 좌표를 네트워크 좌표로 변환하여 저장한다.
  - 저장된 네트워크 좌표는 동시에 상태바에 표출된다.
  - 마우스 이벤트를 인자로 받는다.
· formMouseReleased(java.awt.event.MouseEvent evt)
  - 사용자 마우스 드래그가 완료되고 마우스 왼쪽 버튼이 풀리면 현재 모드에 따라 두 포인트를 필요로 하는 함수이다.
  - 마우스 이벤트를 인자로 받는다.
· DrawLinkNode(Graphics2D g)
  - NodeList와 LinkList가 포함하고 있는 모든 노드, 링크를 화면에 표출하는 기능을 수행한다.
  - 노드는 붉은색으로 고유번호와 노드 유형을 표시한다.
  - 링크는 푸른색으로 표시하며, 방향을 나타내기 위해 화살표로 표시된다.
  - 곡선 링크의 경우 해당 곡률의 원을 노란색으로 표시해 곡률의 크기를 확인할 수 있도록 한다.
  - 자바 그래픽 변수를 인자로 받는다.

○ Public 함수
· paint(Graphics g) : 상위 클래스 함수를 오버라이드한다.
  - 이 함수가 호출되면 우선 화면의 모든 것을 지운다.
  - 좌표변환과 스케일 함수를 호출하여 화면 이동과 화면의 확대, 축소를 구현한다.
  - 배경 이미지 및 정류장 네트워크를 표출한다.
  - 상태바를 통해 현재 모드와 현재 마우스 포인트의 네트워크좌표를 표출한다.
· saveNetwork()
  - 현재 화면상의 정류장 네트워크의 저장기능을 수행한다.
  - 현재는 화면 입출력으로 제한하고 있다.

· setSim(UnitSimulationA 또는 UnitSimulationB Sim)
  - 입력 모듈에서 지정된 단위 시뮬레이션 플래툰 운영전략에 따라 해당 객체를 지정하는 기능을 수행한다.

② PointS
■ 개요
PRT 정류장 네트워크를 생성 표출하는 쓰이는 2차원 실수(double) 좌표를 저장하는 클래스이다.

■ 상속 또는 구현 클래스
정류장 네트워크의 파일 저장을 위해 Serializable 인터페이스로 구현된다.

■ 멤버변수
○ Public 변수
· x (double) : 2차원 화면의 가로 좌표 값을 저장한다.
· y (double) : 2차원 화면의 세로 좌표 값을 저장한다.

■ 멤버함수
○ 생성자
· PointS (double xx, double yy) : 2차원 화면 좌표를 인자로 받아 새로운 점 객체를 생성한다.

○ Public 함수
· double distance(double x1, double y1, double x2, double y2) : 2차원 화면상에서 인자로 주어진 두 점[(x1,y1) - (x2,y2)] 사이의 거리를 계산하여 돌려주는 함수이다.
· String toSting() : 해당 객체의 가로, 세로 좌표값을 문장열로 돌려주는 기능을 수행한다.

(다) 기본객체 저장소 모듈

① CarClass
■ 개요
정류장 시뮬레이션에 필요한 모든 차량 속성을 모사하는 기능을 수행하는 클래

스이며, 차량운행은 단위 시뮬레이션 모듈에서 담당하므로 차량 클래스에서는 속성 입출력 캡슐화를 위한 함수를 제외한 사용자 멤버함수를 지정하지 않았다.

■ 상속 또는 구현 클래스

없음.

■ 멤버변수

○ Private 변수

· GenTime (double) : 최초 차량의 생성시간을 저장하는 변수이다.
AlightTime (double) : 차량에 승객이 승차한 후 승객객체가 차량과 연계되고 나면 이 승객에 설정된 하차시간을 그대로 복사해서 저장하는 변수이다.
Mode (String) : 정류장 내에서 해당 차량 객체의 상태를 저장하는 변수이다. ("Alight", "Wait", "Board")

· departureTime (double) : 차량이 정류장을 출발하는 시각을 저장하는 변수이다.

· AlightEndTime (double) : 차량이 목적지 정류장에 도착한 시간을 저장하는 변수이다.
Pax (PaxClass) : 차량에 승객이 승차할 경우, 해당 승객객체를 저장하는 기능을 하는 객체변수이다.

○ Public 변수

· isEmpty (Boolean) : 객체에 승객이 타고 있는지 여부를 객체 외부에서 인지할 수 있도록 하는 변수이다.

· isThru (double) : 생성된 차량이 정류장으로 향하지 않고 통과할지 여부를 객체 외부에서 인지할 수 있도록 하는 변수이다.
isWave (Boolean) : 정류장으로 향하는 차량이 정류장 내부의 여유공간 부족으로 진입에 실패하는지 여부를 객체 외부에서 인지할 수 있도록 하는 변수이다.

· CompleteAlight (Boolean) : 정류장에 도착한 재차 차량이 승객하차를 끝냈는지 여부를 객체 외부에서 인지할 수 있도록 하는 변수이다.

· CompleteBoard (Boolean) : 정류장을 떠날려는 차량이 승차 프로세스를 끝냈는지 여부를 객체 외부에서 인지할 수 있도록 하는 변수이다.

■ 멤버함수

○ 생성자

· CarClass() : 일반 생성자

- 차량이 생성될 때 멤버 변수들을 초기화하는 기능을 수행한다.

○ Public 함수

· setGenTime(double t) : 차량의 최초 발생 시각을 설정한다.

· double getGenTime() : 차량의 최초 발생 시각을 반환한다.

· setMode(String t) : 차량의 정류장내 상태를 설정한다.

· String getMode() : 차량의 정류장내 상태를 반환한다.

· setAlightTime(double t) : 정류장 도착 차량의 승객하차 소요시간을 설정한다.

· double getAlightTime() : 정류장 도착 차량의 승객하차 소요시간을 반환한다.

· setAlightEndTime(double t) : 정류장 도착 차량의 승객하차 종료시각을 설정한다.

· double getAlightEndTime() : 정류장 도착 차량의 승객하차 종료시각을 반환한다.

② PaxClass

■ 개요

승객의 속성을 저장하기 위한 클래스이며, 승객의 행태는 단위 시뮬레이션 모듈에서 담당하므로 승객 클래스에서는 속성 입출력 캡슐화를 위한 함수를 제외한 사용자 멤버 함수를 지정하지 않았다.

■ 상속 또는 구현 클래스

없음.

■ 멤버변수

○ Private 변수

StationArrTime (double) : 승객이 정류장에 최초 진입한 시각을 저장하는 변수이다.

· BoardTime (double) : 승객이 정류장에서 차량에 승차 완료한 시각을 저장하는 변수이다.

· Assigned (Boolean) : 이미 차량 배정을 받은 승객은 true, 차량배정이 안되고 기다리는 승객일 경우 false의 값을 할당받는다.

■ 멤버함수

○ 생성자

· PaxClass() : 일반 생성자

- 승객이 생성되면 대기승객으로 Assigned = false로 초기화된다.

○ Private 함수

· 없음.

○ Public 함수

· setStationArrTime(double t) : 승객이 정류장에 최초 진입한 시각을 설정한다.

· double getStationArrTime() : 승객이 정류장에 최초 진입한 시각을 반환한다.

setBoardTime(double t) : 승객이 정류장에서 차량에 승차 완료한 시각을 설정한다.

· double getBoardTime() : 승객이 정류장에서 차량에 승차 완료한 시각을 반환한다.

· setAssign(Boolean t) : 승객의 차량배정 여부를 설정한다.

· Boolean getAssign() : 승객의 차량배정 여부를 반환한다.

③ SlotClass

■ 개요

정류장 구간의 슬롯의 속성을 저장하고 거동을 구현하는 클래스이며, 슬롯의 차량 점유 여부를 통해 차량진행을 나타낸다.

■ 상속 또는 구현 클래스

없음.

■ 멤버변수

○ Private 변수

· type (String) : 슬롯의 유형을 저장한다.

· occ (Boolean) : 차량이 해당 슬롯을 점유하고 있는지 여부를 저장한다.

· center (PointS) : 슬롯의 정 중앙 점의 좌표를 저장한다.

· right (PointS) : 슬롯의 우측 끝점의 좌표를 저장한다.

· left (PointS) : 슬롯의 좌 끝점의 좌표를 저장한다.

· Car (CarClass) : 슬롯을 점유하고 있는 차량 객체를 저장한다.

○ Public 변수

· 없음.

○ Package 변수

· 없음.

■ 멤버함수

○ 생성자

· SlotClass() : 일반 생성자로서 멤버 변수의 초기화를 수행한다.

○ Private 함수

· 없음.

○ Public 함수

· setCenter(double x, double y) : 슬롯의 정 중앙 점의 좌표를 설정한다.

· PointS getCenter() : 슬롯의 정 중앙 점의 좌표를 PointS 객체로 반환한다.

· setLeft(double x, double y) : 슬롯의 좌측 끝점의 좌표를 설정한다.

· PointS getLeft() : 슬롯의 좌측 끝점의 좌표를 PointS 객체로 반환한다.

· setRight(double x, double y) : 슬롯의 우측 끝점의 좌표를 설정한다.

· PointS getRight() : 슬롯의 우측 끝점의 좌표를 PointS 객체로 반환한다.

· Occupy(CarClass C) : 슬롯을 점유한 차량객체를 배정한다.

· CarClass getCar() : 슬롯을 점유한 차량객체를 반환한다.

· boolean Occupied() : 슬롯의 점유여부를 반환한다.

· String getType() : 슬롯의 유형을 반환한다.

(라) 입력변수 관리 모듈

① SimInputClass

■ 개요

PRT 정류장 시뮬레이션을 구동하기 위한 입력변수들을 처리하는 기능을 담당한다.

■ 상속 또는 구현 클래스

없음.

■ 멤버변수

○ Private 변수

· VehArrRate (double) : 차량도착수요를 저장한다.
· PaxArrRate (double) : 승객출발수요를 저장한다.
· ThruTrfc (double) : 통과차량을 저장한다.
· EmptyCarRate (double) : 통과차량 중 공차율을 저장한다.
· InputQ (long) : 진입대기 정차대 수를 저장한다.
· Berths (long) : 플래트폼 정차대 수를 저장한다.
· OutputQ (long) : 방출 대기 정차대 수를 저장한다.
· Operation1 (String) : 정류장 내 차량이동 운영 방법을 저장한다.
· Operation2 (String) : 정류장 내 차량군 이동 전략을 저장한다.

○ Public 변수
· 없음.

○ Package 변수
· 없음.

■ 멤버함수

○ 생성자
· 없음.

○ Private 함수
· 없음.

○ Public 함수
· Boolean Check() : 잘못된 입력 값들이 전달되는 것을 방지하기 위한 검증 기능을 담당하는 함수이다.
· setVehArrRate(double s) : 차량도착수요를 설정한다.
· double getVehArrRate() : 차량도착수요를 반환한다.
· setPaxArrRate(double s) : 승객출발수요 설정한다.
· double getPaxArrRate() : 승객출발수요 반환한다.
· setThruTrfc(double s) : 통과차량을 설정한다.
· double getThruTrfc() : 통과차량을 반환한다.
· setEmptyCarRate(double s) : 통과차량 중 공차율을 설정한다.
· double getEmptyCarRate() : 통과차량 중 공차율을 반환한다.

· setInputQ(long s) : 진입 대기정차대 수를 설정한다.
· long getInputQ() : 진입 대기정차대 수를 반환한다.
· setOutputQ(long s) : 방출 대기 정차대 수를 설정한다.
· long getOutputQ() : 방출 대기 정차대 수를 반환한다.
· setBerths(long s) : 플래트폼 정차대 수를 설정한다.
· long getBerths() : 플래트폼 정차대 수를 반환한다.
· setOperation1(String s) : 정류장 내 차량이동 운영 방법을 설정한다.
· String getOperation1() : 정류장 내 차량이동 운영 방법을 반환한다.
· setOperation2(String s) : 정류장 내 차량군 이동 전략을 설정한다.
· String getOperation2() : 정류장 내 차량군 이동 전략을 반환한다.

② SimInputFrame

■ 개요
PRT 정류장 시뮬레이션을 위한 변수들을 입력, 수정, 저장하기 위한 화면을 제공하는 기능을 담당한다.

■ 상속 또는 구현 클래스
자바 스윙의 JFrame 클래스를 상속한다.

■ 멤버변수
○ Private 변수
· jTextField1 ~ jTextField7 (JTextField)
- 순서대로 승객출발수요, 차량도착수요, 통과차량, 통과차량 중 공차율, 진입대기정차대 수, 플래트폼 정차대 수, 방출 대기 정차대 수를 입력하기 위한 글상자를 지정하는 변수이다.
jComboBox1 (jComboBox) : 정류장 내 차량이동 운영 방법 선택을 위한 콤보박스 (“Platoon” 또는 ”Trickle”)를 지정하는 변수이다.
· jComboBox2 (jComboBox) : 정류장 내 차량군 이동 전략 선택을 위한 콤보박스 (“Strategy A” 또는 ”Strategy B”)를 지정하는 변수이다.
· jLabel1 ~ jLabel9 (JLabel)
- 순서대로 승객출발수요, 차량도착수요, 통과차량, 통과차량 중 공차율, 진입 대기정차대 수, 플fot폼 정차대 수, 방출대기 정차대 수, 정류장 내 차량군 이동 운영여부, 차량군 이동 전략 선택 등을 입력하기 위한 레이블을 지정하는 변수이다.

○ Public 변수

· 없음.

○ Package 변수

· Input (SimInputClass) : 입력 변수가 적용될 시뮬레이션 입력 클래스 객체를 담기 위한 변수이다.

■ 멤버함수

○ 생성자

· SimInputFrame(SimInputClass s)

- SimInputClass 객체를 인자로 전달받아 Input 변수에 전달하고 시뮬레이션에 필요한 사전요소를 설정하여 초기화 한다.
- 시뮬레이션 구동에 적용하기 위한 입력변수 값 들을 초기화 한다.

○ Private 함수

jButton1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) : 사용자가 입력한 시뮬레이션 입력변수들을 SimInputClass 객체인 Input 변수에 전달하는 기능을 수행하는 함수이다.

○ Public 함수

· 없음.

(마) 단위 시뮬레이션 모듈

① UnitSimulationA / UnitSimulationB

■ 개요

PRT 정류장 시뮬레이션을 실행시키고 중앙 제어하는 기능을 담당한다. UnitSimulationA는 정류장 내 차량군 이동 전략 A전용 클래스이고, UnitSimulationB는 정류장 내 차량군 이동 전략 B전용으로, 운영전략 부분을 제외한 나머지 부분은 모두 같은 기능을 수행한다. 시뮬레이션 시계를 설정하고 이 시계를 진행시키면서 단위 순간마다 시뮬레이션 상태를 갱신하는 시간구동(time-driven)방식의 시뮬레이션 기법을 채택한다.

■ 상속 또는 구현 클래스

동시에 시행되는 단위 시뮬레이션과 다중 시뮬레이션 시행단위를 구분하기 위해 쓰레드(Thread) 클래스를 상속한다.

■ 멤버변수

○ Private 변수

· Input (SimInputClass) : 시뮬레이션 구동을 위한 입력 클래스 객체 변수이다.

· LSlots[] (SlotClass) : 본선 온라인 슬롯을 담는 슬롯 클래스 배열 변수이다.

· QSlots[] (SlotClass) : 정류장 오프라인 슬롯을 담는 슬롯 클래스 배열 변수이다.

· no_of_LSlots (int) : 본선 온라인 슬롯의 수를 저장한다.

· no_of_QSlots (int) : 정류장 오프라인 슬롯의 수를 저장한다.

· no_of_InputQ (int) : 진입 대기 정차대수를 저장한다.

· no_of_Berth (int) : 플래트폼 정차대수를 저장한다.

· no_of_OutputQ (int) : 방출 대기 정차대수를 저장한다.

InputMode (String) : 진입대기 정차대의 상태(“Occupying”, “Clear”)를 저장한다.

BerthMode (String) : 플래트폼 정차대의 상태(“Occupying”, “Clear”)를 저장한다.

· no_of_waiting (long) : 플래트폼의 대기 승객 수를 저장한다.

no_of_waive (long) : 시뮬레이션 시점부터 정류장 진입이 거부된 차량의 수를 저장한다.

· no_of_waive1 (long) : 워밍업 기간이 지난 후 정류장 진입이 거부된 차량의 수를 저장한다.

· no_of_CarThruput (long) : 시뮬레이션 시점부터 정류장에서 처리된 차량 수를 저장한다.

· no_of_CarThruput1 (long) : 워밍업 기간이 지난 후 정류장에서 처리된 차량 수를 저장한다.

· no_of_PaxThruput (long) : 시뮬레이션 시점부터 정류장에서 처리된 승객 수를 저장한다.

· ave_waiting_Q (long) : 워밍업 기간이 지난 후 정류장에서 처리된 승객 수를 저장한다.

· var_waiting_Q (double) : 정류장 승객 대기행렬 길이의 분산을 저장한다.

· ax_waiting_Q (long) : 정류장 승객의 평균 대기행렬 길이를 저장한다.

· ave_waiting_time (double) : 정류장 승객 대기시간의 분산을 저장한다.

· var_waiting_time (double) : 정류장 승객의 평균 대기시간을 저장한다.

· max_waiting_time (double) : 정류장 승객의 최대 대기시간을 저장한다.

· cnt_waiting_time (long) : 현재 정류장 대기 승객 수를 저장한다.

· no_of_entering (long) : 시뮬레이션 시점부터 정류장에 진입한 차량수를 저장한다.

no_of_entering1 (long) : 워밍업 기간이 지난 후 정류장에 진입한 차량수를 저장한다.

· rand (Random) : 시뮬레이션의 랜덤 변수 값을 생성하는 객체함수이다.

· LastPaxArrTime (double) : 승객 발생을 위해 사용되는 지시변수이다다.

· PaxList (ArrayList<PaxClass>) : 발생된 승객 객체를 누적하여 저장하는 리스트 변수이다.

JP (NetworkJPanel) : 현재 시뮬레이션 구동과 연계된 화면을 연결하는 변수이다.

○ Public 변수

· 없음.

○ Package 변수

· 없음.

■ 멤버함수

○ 생성자

· 오버로드 생성자: UnitSimulationA(SimInputClass I,NetworkJPanel J)

- 단위 시뮬레이션 구동시 사용된다.
- 애니메이션 실행을 위한 화면 객체를 전달한다.

· 오버로드 생성자: UnitSimulationA(SimInputClass I)

- 애니메이션 없이 다중 시뮬레이션 구동 시 사용된다.

○ Private 함수

· unitRun(NetworkJPanel JP) : 애니메이션과 연결된 단위 시뮬레이션을 실행한다.

· PaxAssign(double simTime) : 발생된 승객을 차량에 배정하는 기능을 수행한다.

· ProceedLSlot(double simTime) : 정류장 온라인에서 차량을 진행 시키는 기능을 수행한다.

· ProceedQSlot(double simTime) : 정류장 오프라인에서 차량을 진행 시키는 기능을 수행한다.

· PaxGenerate(double simTime) : 주어진 승객 수요 수준에 따라 음지수 분포에 따른 승객 발생을 처리한다.

CarGenerate(double simTime) : 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 차량 발생을 처리한다.

· LognormalTime(String type) : 승객의 차량 승하차 시 필요한 승하차 소요시간을 위한 로그정규 변수 발생 기능을 수행한다.

○ Public 함수

· unitRun() : 다중 시뮬레이션에서 호출되는 함수로서 애니메이션 기능이 없는 단위 시뮬레이션 함수이다.

· SetSlots() : 주어진 최소 차두시간 및 감가속에 따라 슬롯 크기 결정 및 온라인/오프라인을 슬롯 단위로 나누는 기능을 수행한다.

· SlotClass[] GetLSlot() : 정류장 온라인 슬롯객체 배열을 반환한다.

· SlotClass[] GetQSlot() : 정류장 오프라인 슬롯객체 배열을 반환한다.

· int get_no_of_QSlots() : 정류장 온라인 슬롯의 수를 반환한다.

· SimInputClass get_Input() : 시뮬레이션 입력 객체를 반환한다.

· long getNo_of_waiting() : 정류장 대기 승객 수를 반환한다.

· double getMax_waiting_Q() : 정류장 최대 대기 승객 수를 반환한다.

· double getAve_waiting_Q() : 정류장 평균 승객 대기 행렬길이를 반환한다.

· double getMax_waiting_time() : 정류장 승객 최대 대기시간을 반환한다.

· double getAve_waiting_time() : 정류장 승객 평균 대기시간을 반환한다.

· double getVar_waiting_time() : 정류장 승객 대기시간 분산을 반환한다.

· double getVar_waiting_Q() : 정류장 승객 대기 행렬길이의 분산을 반환한다.

· double getWaiveRate() : 정류장 진입 거부율을 반환한다.

· long getNo_of_CarThruput() : 시뮬레이션 시점부터 정류장에서 처리된 차량수를 반환한다.

· long getNo_of_PaxThruput() : 시뮬레이션 시점부터 정류장에서 처리된 승객수를 반환한다.

(바) 다중 시뮬레이션 모듈

① MultiSimulationClass

■ 개요

PRT 정류장 시뮬레이션을 복수로 실행시키고 평가지표의 평균과 분산을 계산하는 기능을 수행하는 클래스이다.

■ 상속 또는 구현 클래스

동시에 시행되는 단위 시뮬레이션과 다중 시뮬레이션 시행단위를 구분하기 위해 쓰레드(Thread) 클래스를 상속한다.

■ 멤버변수

○ Private 변수

· 없음.

○ Public 변수

· 없음.

○ Package 변수

thisSimA (UnitSimulationA) : 정류장에서 플래툰 운영전략 A에 해당하는 단위 시뮬레이션 객체 변수이다.

· thisSimB (UnitSimulationB) : 정류장에서 플래툰 운영전략 B에 해당하는 단위 시뮬레이션 객체 변수이다.

· Input (SimInputClass) : 시뮬레이션 입력을 처리하는 객체 변수이다.

○ 정적변수

· no (int) : 다중 시뮬레이션 구동 횟수를 저장하는 정적 변수이다.

■ 멤버함수

○ 생성자

· MultiSimulationClass(SimInputClass I)

- SimInputClass 객체를 인자로 전달받아 Input 변수에 전달하고 시뮬레이션 구동 횟수를 저장하는 정적 변수인 no를 초기화한다.

○ Private 함수

· 없음.

○ Public 함수

· run() : 애니메이션 없이 단위 시뮬레이션을 반복 구동시켜 각종 평가지표의 평균과 분산을 산정하여 MultiSimOutputFrame 객체에 전달하는 기능을 수행한다.

② MultiSimOutputFrame

■ 개요

다중 시뮬레이션 진행상태를 프로그래스 바로 표시하고 계산 완료후, 결과를 표출하는 화면을 제공한다.

■ 상속 또는 구현 클래스

자바 스윙의 JFrame 클래스를 상속한다.

■ 멤버변수

○ Private 변수

· jFrame1 (jFrame) : 바탕 프레임을 구성하는 객체 변수이다.

· jProgressBar1 (JProgressBar) : 진행 상태를 나타내기 위한 프로그래스 바 객체이다.

· jScrollPane1 (JScrollPane) : 스크롤 기능을 제공하는 객체이다.

· jTextArea1 (JTextArea) : 결과를 표출하기 위한 글상자 객체이다.

○ Public 변수

· 없음.

○ Package 변수

· Input (SimInputClass) : 입력 변수가 적용될 시뮬레이션 입력 클래스 객체를 담기 위한 변수이다.

■ 멤버함수

○ 생성자

· MultiSimOutputFrame() : 화면 위치 및 프로그래스 바의 초기화를 실행한다.

○ Private 함수

· jButton1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) : 시뮬레이션 입력변수들을 SimInputClass 객체인 Input 변수에 전달하는 기능을 수행하는 함수이다.

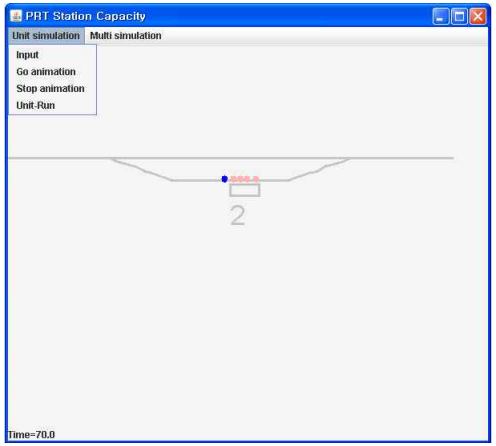
○ Public 함수

· 없음.

(사) 메뉴설명

① Unit simulation 메뉴

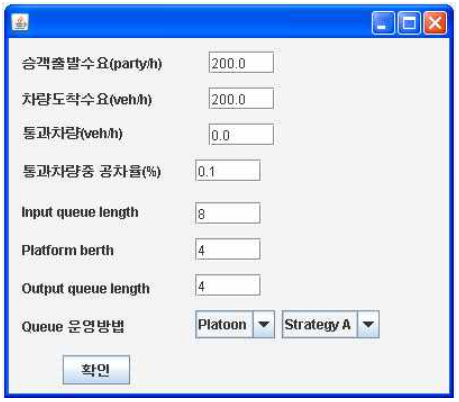
본 프로그램은 단일 승강장 직렬 PRT(Personal Rapid Transit) 정류장 운영에 대해 주어진 입력변수에 따라 단위 시뮬레이션을 실행한다.



<그림 3.3.77> Unit simulation 메뉴 예시

■ Input 메뉴

· 그림 3.3.78과 같이 단위 시뮬레이션에 필요한 변수 값들을 입력하는 창이 표시된다.



<그림 3.3.78> SimulationFrame 화면

■ Go animation 메뉴

· 주어진 입력 변수에 대해 단위 시뮬레이션을 수행하고 시뮬레이션 진행 상태를 그림 3.3.79과 같이 애니메이션으로 화면에 표출한다.

■ Stop animation 메뉴

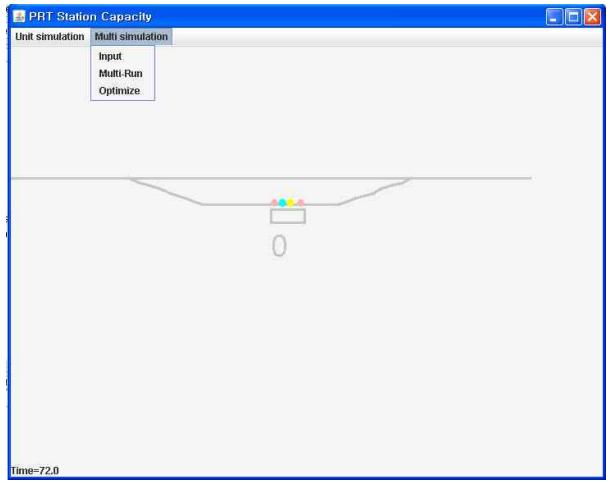
· 실행 중인 단위 시뮬레이션을 일시 정지한다.

· Go animation 메뉴를 통해 연속해서 다시 시작할 수 있다.

■ Unit-run 메뉴

· 애니메이션 없이 단위 시뮬레이션을 수행한다.

② Multi simulation 메뉴



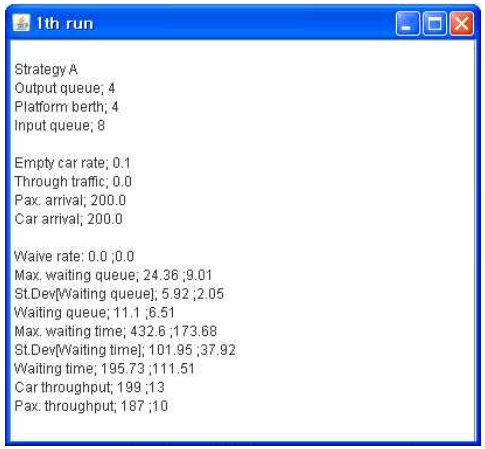
<그림 3.3.79> Multi simulation 메뉴 예시

■ Input 메뉴

· 그림 3.3.78과 같이 단위 시뮬레이션에 필요한 변수 값들을 입력하는 창이 표시된다.

■ Multi-run 메뉴

· 단위 시뮬레이션을 반복적으로 수행하여 평가지표를 계산하고, 이를 그림 3.3.80와 같이 표출한다.



<그림 3.3.80> MultiSimOutputFrame 화면

③ 기본화면 조작 기능

- 마우스 볼을 회전하면 전체 화면을 확대/축소할 수 있다.
- 마우스 오른쪽 버튼을 누른 상태에서 마우스를 이동시키면 화면 전체를 이동시킬 수 있다.

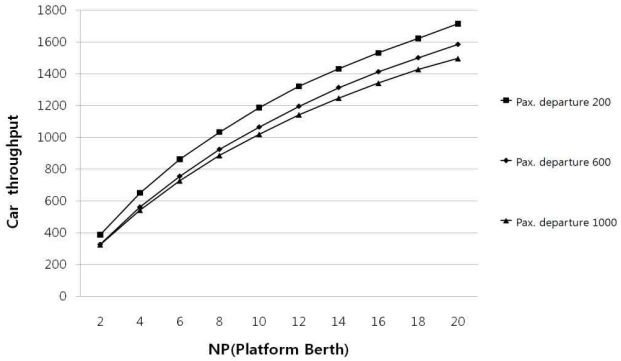
라. 정류장 용량분석

(1) 이상조건 용량 분석

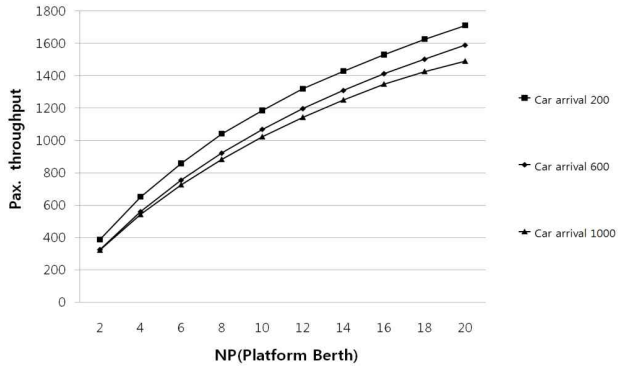
본격적인 분석결과를 설명하기 전에 우선, 본 연구에서 제시하는 수치들은 100번 이상의 단위 시뮬레이션을 반복하여 얻은 평균 값임을 분명히 할 필요가 있다. 재차처리용량, 승객처리용량, 거부율, 대기시간등 주요 지표의 분산이 모두 작은 것으로 판명되었다. 반면, 단위 시뮬레이션에 있어 승객간의 대기시간 편차는 매우 큰 것으로 나타나 평균대기시간을 평가지표로 이용할 때 주의가 필요하다.

개발된 시뮬레이터를 검증하기 위하여 이상조건에서의 용량을 기존 연구 제시 값들과 비교하였다. 재차처리용량은 해당 정류장으로 충분한 숫자의 재차가 도착한다고 가정하고, 이 경우 반대 흐름은 정류장에서 출발하려는 승객수요가 된다. 반면, 승객 처리용량 산정 시에는 정류장 승강장에 출발을 기다리는 무한대의 대기행렬이 있다고 가정하고, 이때의 반대흐름은 재차도착 수요가 된다.

본 연구에서는 시간당 200, 600, 1000의 3 수준의 반대 흐름을 가정한다. 그림 3.3.81에서 보듯이 두 경우 모두, 승강장 정차대 수에 따라 산정된 용량 수준의 패턴은 기존 연구의 결과와 부합하는 것으로 판명 된다. 다만, 용량 수준이 기존 연구 결과 값들에 비해 다소 적게 분석되었는데, 이는 본 연구에서 차량생성과 승객발생에 있어 보다 엄격한 무작위성을 적용한 결과라 판단된다.



(a) Car throughput vs. number of platform berths



(b) Passenger throughput vs. number of platform berth

<그림 3.3.81> 이상조건 용량 수준

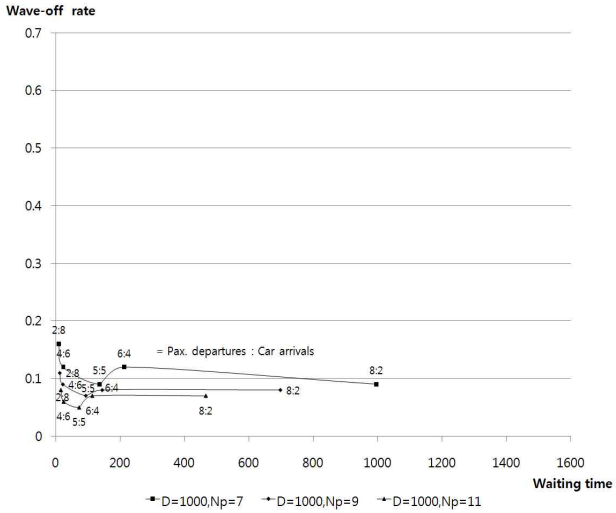
(2) 거부율 대 대기시간

재차도착과 승객 출발의 다양한 비율에 따른 재차 진입 거부율과 승객 대기시간의 관계를 규명한다.

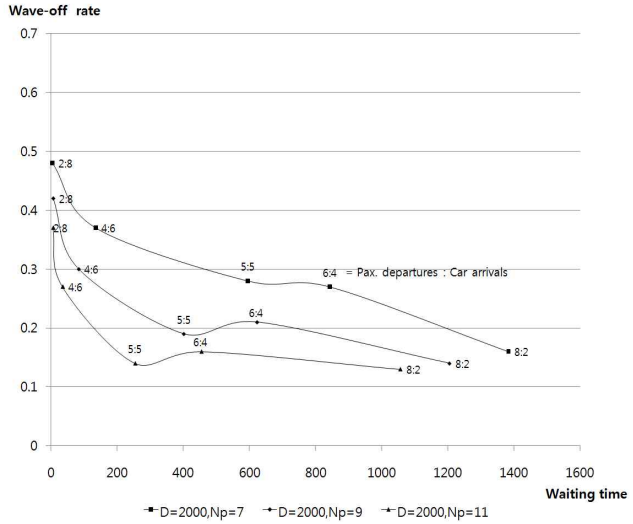
적정 거부율과 대기시간을 고려한 정류장 용량은 한 번에 계산이 불가하며 반복적인 시뮬레이션을 통해 추정하는 수 밖에 없다. 본 연구에서는 3가지 수요 수준과 3가지 승강장 정차대 수에 따라 총 9가지 경우에 대해 테스트한 후 근사 용량을 추정한다.

그림 3.3.82는 설정된 경우의 수에 대한 결과를 나타낸다. 총 수요가 D = 2,500/시간이고 정차대수가 Np = 7 일 때, 평형점 즉, 재차도착과 승객 출발수요가 일치(5:5)하는 점은 거부율과 대기시간 모두 중간 수준에서 결정된다. 총 수요가 감소하고 승강장 정차대 수가 증가하면 평형점에서의 거부율과 대기사간은 최소값에 접근한다.

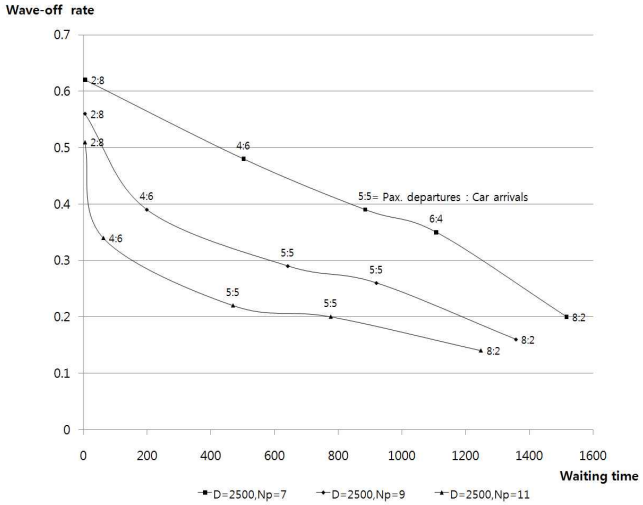
최대허용 서비스 수준을 거부율 5% 이내와 대기시간 1분 이내로 규정하면, 총수요가 D = 1,000/시간 이하 이고, 승강장 정차대수가 Np = 11 이상일 때의 평형점에서만 해당 기준 이내가 된다는 것을 유추할 수 있다.



(a) Total demand level of 1,000 per hour



(b) Total demand level of 2,000 per hour



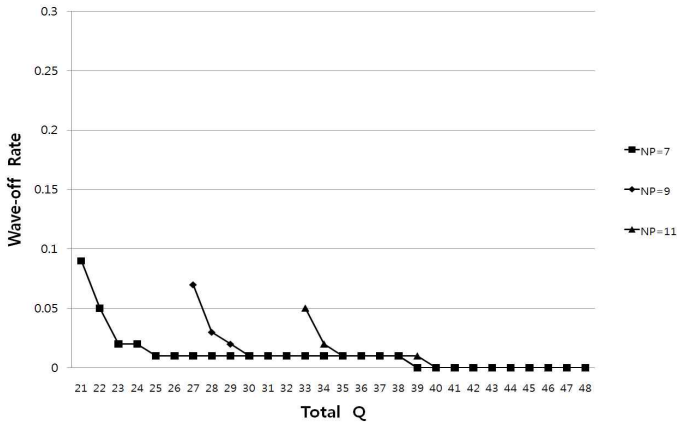
(c) Total demand level of 2,500 per hour

<그림 3.3.82> 거부율 대 대기시간

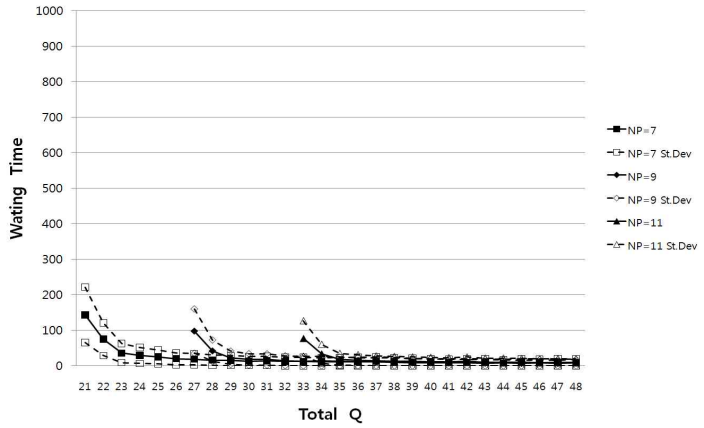
(3) 정차대 규모와 용량관계

다양한 정차대 배치에 따른 평형점 에서의 거부율과 대기시간의 관계를 분석하였다. 정류장 용량을 추정하기 위해 상기와 같은 3가지 수준의 총수요에 대해 분석을 수행 하였다. 즉, 승객 출발수요와 재차 도착수요의 합을 시간당 1,000, 2,000, 2,500로 가정하였다. 그림 3.3.83에서 그림 3.3.85는 각각 3 가지 총수요 수준에 따른 결과를 나타내며, 각 총수요 수준 별로 3가지 승강장 정차대 수를 분석하였다. 방출 정차대수는 승강장 정차대수와 동일하게 설정하였으므로 총 정차대수 (Total Q)의 영향은 본질적으로 진입 정차대 수의 영향을 대변한다.

총수요가 작을 경우 그림 3.3.83의 (a) 에서 보듯이 (D = 1,000), 주어진 승강장 정차대 수에 단 하나의 진입 정차대를 추가하는 것이 거부율 5% 이내 수준을 보장한다. 그림 3.3.83의 (b)는 총수요가 작을 때 (D = 1,000), 단지 1-2개의 진입 정차대의 추가로 1분 이내의 평균 대기시간을 확보할 수 있음을 나타낸다.



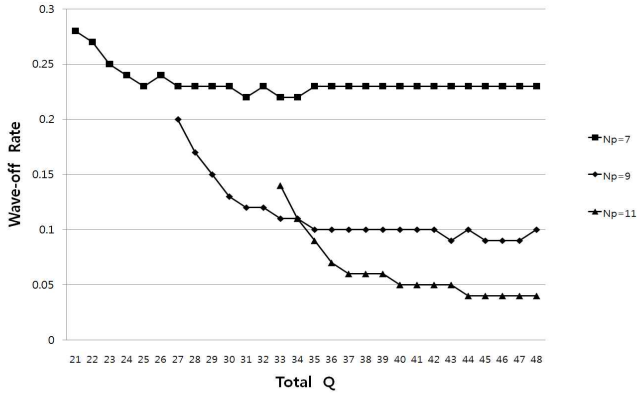
(a) Wave off rate vs. total number of berths (demand = 1,000 per hour)



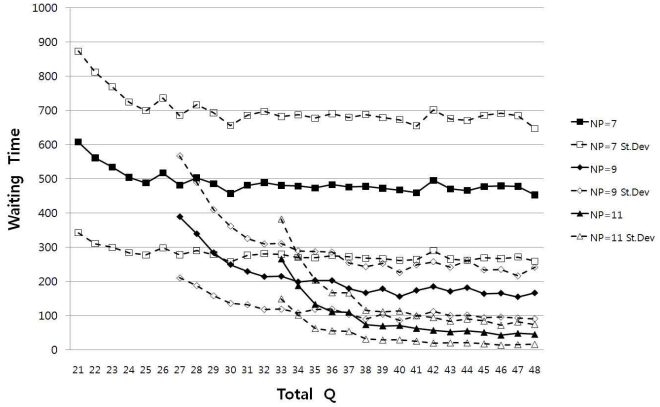
(b) Waiting time vs. total number of berths (demand = 1,000 per hour)

<그림 3.3.83> 정차대수 대 거부율/대시시간

(at equilibrium for demand level of 1,000 per hour)



(a) Wave off rate vs. total number of berths (demand = 2,000 per hour)



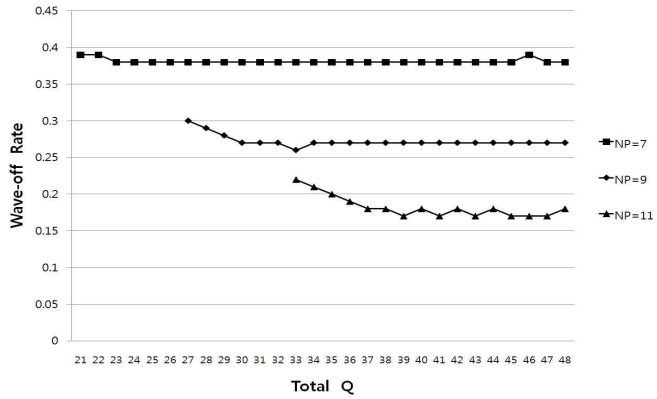
(b) Waiting time vs. total number of berths (demand = 2,000 per hour)

<그림 3.3.84> 정차대수 대 거부율/대시시간

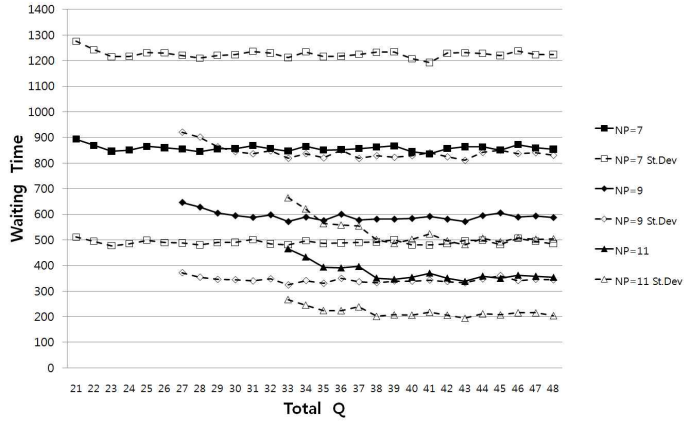
(at equilibrium for demand level of 2,000 per hour)

그림 3.3.85는 총수요가 비교적 클 경우 (D = 2,500 per hour) 정차대 수와 거부율, 대기시간과의 관계를 표시한다. 거부율, 대기시간 곡선 모두 낮은 수요수준의 곡선에 비해 납작한 모양을 나타낸다. 많은 수의 정차대를 추가하더라도 허용 기준 이내(거부율 5% 미만, 대기시간 1분 미만)의 서비스 수준을 확보하기 힘든 것으로 판명된다.

앞서 언급한 바와 같이, 수요 수준이 높을 경우 대기시간의 승객별 변동은 매우 큰 것으로 나타났다. 그림 3.3.84의 (b)와 그림 3.3.85의 (b)에서 보듯이, 특히 정차대수가 부족할 경우 대기시간의 표준편차가 큰 것을 알 수 있다.



(a) Wave off rate vs. total number of berths (demand = 2,500 per hour)



(b) Waiting time vs. total number of berths (demand = 2,500 per hour)

<그림 3.3.85> 정차대수 대 거부율/대시시간

(at equilibrium for demand level of 2,500 per hour)

결론적으로, 허용 서비스 수준에서 시간당 500대의 재차와 500명의 승객을 처리하기 위해서는 적어도 23의 정차대가 필요한 것으로 판명되었다. 각 수요가 시간당 1,000으로 증가하면 소요 정차대수가 44개로 증가하며, 수요 수준이 그 이상으로 증가하면 정차대수의 증가가 의미가 없는 것으로 분석 되었다.

(4) 정류장 용량분석 결과

본 연구에서는 다양한 PRT 정류장 용량 결정요소를 파악하여 이를 적용한 시뮬레이터를 개발 하였다. 기존 연구 결과와의 비교를 통해 개발된 시뮬레이터의 효용을 검증하였으며 이를 통한 다양한 용량 분석 결과를 제시하였다. 특히, 기존 연구에서 배제되었던 다양한 수요패턴에 따른 정류장 성능 분석을 수행하였고 평형점, 즉 재차도착수요와 승객 출발수요가 균형을 이룰 때 대기시간과 거부율에서 유리한 결과가 나온다는 것을 발견하였다.

평형점 수요 조건에 대해 정차대수가 거부율, 대기시간에 미치는 영향을 면밀히 분석하였다. 결과적으로, 허용 서비스 수준에서 시간당 500대의 재차와 500명의 승객을 처리하기 위해서는 적어도 23의 정차대가 필요한 것으로 판명되었다. 각 수요가 시간당 1,000으로 증가하면 소요 정차대수가 44개로 증가하며, 수요 수준이 그 이상으로 증가하면 정차대 수의 증가가 의미가 없는 것으로 분석 되었다. 특히, 정차대수가 부족하고, 수요수준이 높으면 대기시간의 분산이 상당히 커질 수 있다는 점을 발견하였다.

본 연구에서는 단순 직렬 정류장에 분석을 국한 하였으나, 향후 다양한 정류장 유형에 따른 용량 분석이 뒤따라야 할 것으로 판단된다. 이 경우, 용량에서 얻는 편익과 추가되는 정류장 설치비용의 관계를 함께 분석하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

제4절 하부시스템별 시스템 요구사항 및 인터페이스 사양(안)

1. 차량시스템

2006년도 "소형궤도열차시스템기술개발"이 잠정 중단된 이후 국내에서 PRT 시스템에 대한 연구는 한국철도기술연구원, Vectus, Skycar에서 수행되었으나, 국가연구개발사업으로 수행되었던 경우와 비교하면 연구개발이 종합적으로 수행되었다고 보기 어렵다. 특히, 차량시스템에 대해서는 신규차량을 설계·제작하여 시험평가를 수행하는 등의 연구개발은 거의 이뤄지지 않았다고 해도 과언이 아니다. 당해연도 연구에서는 2006년도에 수행된 차세대 도시철도시스템 기술개발사업(분야 : 소형궤도열차시스템) 1차년도에서 도출된 PRT 차량시스템에 대한 요구사항(안)과 개발목표사양(안)을 기술 검토하였다.

가. 요구사항(안) 검토

PRT 차량시스템을 보다 경제적이고 효율적으로 설계, 제작, 운용하기 위해 기 작성된 차량시스템 요구사항(안)에 대해 최근의 기술개발 동향 및 발전추이 등을 기반으로 하여 다음과 같이 기술 검토를 수행하였다.

(1) 집전방식

전력공급시스템 요구사항(안)에서는 격자형 네트워크 노선에서 운행되는 많은 수의 PRT 차량에 제3궤조 방식으로 전력을 공급할 경우 전력공급시스템 구성이 복잡해지고, 승객대피 시에 감전위험이 크므로 비접촉식 유도급전방식과 정거장에서 정차시만 접촉에 의해 전원공급 방식에 대하여 적용성 및 기술발전성을 감안하여야 선정할 필요가 있다. 아울러 정거장 정차시 접촉에 의한 전원공급방식과 최근 국내외에서는 배터리, 콘덴서 등 전기자동차와 관련된 많은 기술들이 발전을 거듭하고 있는 기술을 연계하여 배터리 급속 충전식 방식이 좋은 조합이 될 것으로 보인다. 또한 제3궤조 방식도 한국형 고무차륜 경량전철(K-AGT)과는 달리 최근에는 그림 3.4.1과 같이 주행노면에 매몰식으로 설치된 새로운 형태도 선보이고 있다. 따라서 PRT 차량시스템의 집전방식과 가선공칭전압은 기 제안된 비접촉식 유도급전방식 외에 배터리 충전식, 매몰식 제3궤조 등 최신 기술에 대해서도 PRT 차량시스템의 경제성, 안전성, 안정성 등을 기반으로 종합적으로 고려할 필요가 있다.



<그림 3.4.1> 매몰식 제3궤조 집전방식(프랑스 보드로 트램)

(2) 승객정원

당초 요구사항(안)에서는 차량의 승객정원을 4명으로 제안하였으나, 일반 자동차의 승객정원(5인승, 7인승, 9인승, 11인승 등)을 고려할 때 6명으로 증원하는 것을 검토할 필요가 있다. 승객정원을 증대시키기 위해서는 차량중량과 차실공간을 증대시켜야 하고, 너무 과대할 경우 축중을 증대시켜 결국에는 주행궤도의 건설비용을 증가시킬 수 있다. 그러나 차량정원을 4명에서 6명으로 증원하는 경우에는 차실내에 접이식 의자를 설치하면 차실면적 증대를 최소화시킬 수 있고, 1명의 중량은 크지 않기 때문에 제안된 요구사항(안) 범위 내에서도 수용 가능할 것으로 판단된다.

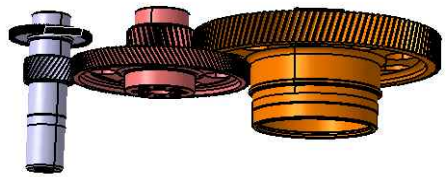
(3) 기후조건

PRT 차량시스템이 원활히 운행되기 위한 온도조건은 하절기 주행노면의 복사열을 고려할 때 기존의 -25℃~40℃에서 -25℃~60℃ 정도로 증가시키는 것을 검토할 필요가 있다. 그러나 차량 전장품, 센서 등이 오작동 없이 정상동작할 수 있는 온도범위의 확대는 차량 제작비용의 증대를 초래할 수 있으므로 이에 대한 검토를 수행한 후 확정해야 한다. 또한 최대 강우 및 강설강도, 풍속조건은 너무 가혹한 조건이 되면 과대설계가 될 가능성이 있으므로 배수용량, 제설능력, 차량의 동특성해석을 통해 결정하는 것이 타당하다.

(4) 차체 재질

기 제안된 요구사항(안)에서는 미려도, 경제성, 제작성(성형성)을 모두 갖춘 차체를 개발하기 위해서 차체재질을 Glass-FRP 또는 Carbon-FRP로 제안하였다. 복합재료를 사용하여 차체를 제작할 경우 차량 경량화와 미려도(성형성) 측면에서 유리하고, 제한된 연구예산으로 시제차량을 제작할 수 있다는 장점이 있다. 반면 강성확보, 소음 및 전자기

Noise 차폐, 화재안전, 볼트 또는 리벳 등 판넬 체결부의 내구성 확보, 재료의 재사용, 파손시 보수방안 등에 대한 대책이 수립되어야 한다. PRT 차량시스템은 자동차와 유사한 크기와 형상을 가질 것으로 예상되지만, 일반 자동차에 비하면 제작수량이 많지 않기 때문에 차체를 금속재료(일반강, 스테인레스, 알루미늄 등) 만으로 제작할 경우 금형비용이 과대해질 수 있고, 차체 미려도가 저하될 수 있다. 따라서 PRT 차량시스템의 차체는 복합소재로 제한하기 보다는 복합소재와 금속재료를 적절히 선택할 수 있도록 하여 미려도, 경제성, 제작성(성형성), 환경성, 안전성, 유지보수성 등을 최적화할 수 있도록 요구사항(안)을 검토할 필요가 있다.



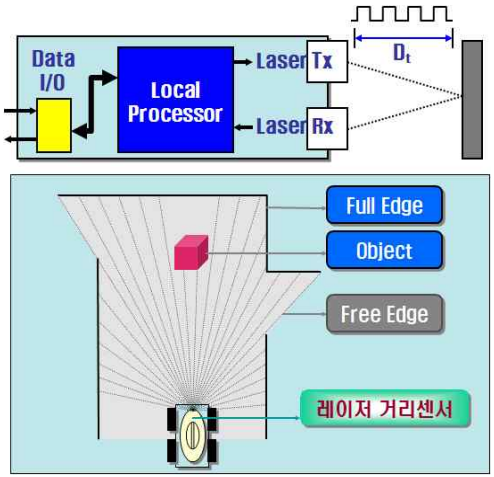
<그림 3.4.2> 2단 헬리컬기어 감속구동장치(바이모달 트램)

(5) 동력전달방식

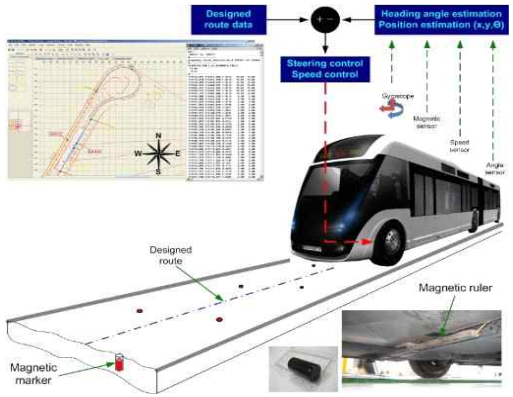
기 제안된 요구사항(안)에서는 PRT 차량의 동력전달방식으로 각각의 동력륜과 구동모터를 유성기어를 이용하여 연결하는 차륜독립구동방식이 제안되었다. 이와 같이 동력전달계를 구성할 경우 차동기어를 설치하지 않고도 차량의 곡선 추종성을 확보할 수 있는 장점이 있다. 반면, 유성기어방식의 감속구동장치를 국내에서 개발할 경우 연구개발 비용과 향후 양산대수를 감안할 때 전문업체의 개발참여를 확신할 수가 없게 된다. 또한 최근 국내에서 개발된 바이모달 트램의 경우 2단 헬리컬기어방식으로 차륜독립구동형 감속구동장치를 개발한 사례가 있다. 따라서 PRT 차량시스템의 동력전달방식은 차륜독립구동방식을 유지하되 유성기어방식 뿐만 아니라 헬리컬 기어방식 등 국내에서 기존 기술을 응용할 수 있도록 요구사항(안)을 검토할 필요가 있다.

(6) 안내 방식

기존의 고무차륜 경량전철 안내 방식으로는 물리적인 강재방식으로 측면/중앙안내 방식등이 사용되고 있다. 이와 더불어 IT 기술을 접목한 무인 자동차 등에서 많은 기술진보를 이루고 있는 레이저를 이용한 안내 방식, 자석을 이용한 안내 방식이 PRT에 적용되고 있으며 그 개념은 아래 그림과 같다.



<그림 3.4.3> 레이저를 이용한 PRT 차량 안내방식



<그림 3.4.4> 자석을 이용한 PRT 차량 안내방식

나. 개발목표사양(안) 검토

PRT 차량시스템의 개발목표사양(안)에 대한 검토는 최급구배와 주행저항에 대해서만 수행되었다.

(1) 최급구배

PRT 차량시스템은 전용궤도 뿐만 아니라 일반도로와 연결되어 운행될 수 있으므로 일반도로의 경사도에서 주행할 필요가 있다. 표 3.4.1은 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙" 제25조에서 규정된 소형차로의 종단경사를 보여준다. 따라서 PRT 차량시스템의 최급구배는 당초 10%에서 13% 이상(PRT 시스템의 운행개념에 따라 13~17%)으로 증대할 필요가 있다.

<표 3.4.1> 소형차로의 종단경사(%)

설계속도 (km/h)	고속도로		간선도로		집산도로 및 연결로		국지도로	
	평 지	산 지	평 지	산 지	평 지	산 지	평 지	산 지
120	4	5						
110	4	6						
100	4	6	4	7				
90	6	7	6	7				
80	6	7	6	8	8	10		
70			7	8	9	11		
60			7	9	9	11	9	14
50			7	9	9	11	9	15
40			8	10	9	12	9	16
30					9	13	10	17
20							10	17

(2) 주행저항

PRT 차량시스템의 형상, 구조, 중량 등은 기존 자동차와 유사할 것으로 추정되므로 PRT 차량의 주행저항은 승용차의 정보를 이용하여 다음과 같이 추정하였다. 향후 PRT 차량의 상세설계를 수행하면서 보다 실제에 가까운 주행저항을 유도할 수 있을 것으로 예상된다.

$$f\ W+f_2 A V^2 = 0.015\,W + 0.013\,V^2 \qquad (3.4.1)$$

위 식에서

R : 주행저항 (kgf)

f_1 : 구름저항계수 (0.015로 가정)

W : 차량 전중량(차량중량 +승객중량)

f_2 : 공기저항계수(0.004로 가정)

A : 차량의 전면투영면적(1.8×1.8 = 3.24㎡로 가정)

V : 차량의 주행속도(km/h)

다. 요구사항(안) 및 개발목표사양(안) 수정안

2006년도에 제안된 PRT 차량시스템의 요구사항(안) 및 개발목표사양(안)에 대해 기술검토 결과와 최신 기술동향 등을 반영하여 다음과 같이 보완하였다. PRT 시스템에 대한 연구가 진행될수록 요구사항(안) 및 개발목표사양(안) 검토 및 보완이 계속해서 수행될 것이다.

(1) 차량 일반

(가) 차량 주요성능

- 차량 전원공급방식 : 비접촉 유도급전방식, 차상 배터리 방식, 매몰식 제3궤조
- 최고 운행속도 : 60km/h (성능최고속도 70km/h 이상)
- 표정속도(목표노선에서) : 40~45km/h

PRT 차량의 전원공급방식은 기 제안된 비접촉식 유도급전방식 외에도 충전배터리방식과 매몰식 제3궤조 방식을 추가하여 효율성, 경제성, 안전성 등을 감안하여 최적방안을 선택할 수 있도록 하였음.

(나) 시제차량 제작

개발되는 PRT 시스템의 주요기능 및 종합성능 검증을 위해 4량의 시제차량을 제작한다.

(다) 차량 중량과 축중

- ■ 만차중량 : 2.0톤 이하 (1량 기준)
- ■ 축　　중 : 1.0톤 이하

PRT 차량의 승객정원이 4명~6명(가능)으로 변경되었으나, 차량의 만차중량과 축중은 변경없이 만족될 수 있을 것으로 판단됨.

(라) 차량 크기

- PRT 시스템 기술개발사업에서 규정한 크기를 가지며, 차량한계 내에서 운행이 가능하도록 한다.

- 차량은 4~6명을 위한 의자를 제공해야 한다.
- 휠체어 승객의 승차가 가능하도록 접이식 의자, 충분한 크기의 출입문과 바닥공간을 제공해야 한다.
- 차량에는 일정한 규모의 승객 수화물을 싣고 운행할 수 있어야 한다.

일반 승용차의 승객정원(4인승, 6인승, 7인승, 9인승, 11인승 등)을 고려하여 PRT 차량의 최대 승객정원은 6명으로 증원하였고, 객실 내의 접이식 의자의 수량은 삭제하여 실내디자인의 자유도를 증대시켰음.

(마) 총 좌석수 및 배열

- 좌석수 : 4~6석 이상(1량 기준)
- 좌석 배열 : 종방향 또는 횡방향 배열 (혼합형 가능)

최대 승객정원(4~6명)에 따라 간이 좌석수를 증가시킬 필요가 있으며, 좌석배열은 종방향, 횡방향, 혼합형 배열을 가능하게 하여 제한된 공간의 활용성을 증대시켰으며, 휠체어 승객을 위한 실내디자인이 가능하도록 하였음.

(바) 출입문 : 차량당 2개

섬식과 상대식 정거장에서 모두 승하차가 가능하도록 출입문은 양방향으로 2개를 설치하도록 하였음.

(2) 환경조건

(가) 기후조건

- 외기 조건 : -25℃ ~ +60℃
- 습도 : 5% ~ 100%

PRT 차량은 승객의 호출에 의해 운행되기 때문에 하절기 대기시간이 길어지면 노면의 높은 복사열에 노출될 수 있음. 따라서 외기온도 조건을 -25℃ ~ +60℃으로 변경하였음. 또한 최대 강우 및 강설강도, 풍속조건은 너무 가혹한 조건이 되면 과대설계가 될 가능성이 있으므로 배수용량, 제설능력, 차량의 동특성해석을 통해 결정하는 것이 타당함.

(나) 기 타

- 먼지, 쓰레기, 식물 부스러기 및 터널먼지 (최대 70%의 금속성 먼지) 속에서도 정상적으로 운행 가능하여야 한다.
- 먼지, 비 등과 염분(해안도시의 경우)에 대한 대비책이 강구되어야 한다.
- 내장재, 카펫 등을 포함하여 모든 재료는 화재시 『도시철도차량안전기준에관한 규칙』을 만족하여야 한다.
- 차량은 수밀되어야 하고 KS R 9145에 적합해야 한다.
- 차량의 화재는 감지되어야 하며 적절한 곳에 경고장치가 설치되어야 한다.

(3) 고장시 운행

(가) 감지할 수 있는 모든 고장은 기록 및 현시되어야 하며, 주요고장은 경보를 발생하도록 한다.

(나) 만차하중의 차량 1대가 노선 최대 구배의 경사로에서 고장으로 인해 운행이 불가능한 동일조건의 정상 차량이 구원 운전할 수 있어야 한다.

(다) 차량고장의 경우 고장이 발생한 차량을 회로적으로 분리시켜 자체 비상운전 및 구원운전이 가능하도록 하여야 하며, 견인차가 있는 경우 상호 구원운전이 가능한 구조이어야 한다.

(4) 안전성

(가) 모든 부품의 설계와 제작은 승객의 안전이 고려되어야 하며, 위험상황에서 탈출할 수 있는 장치가 구비되어야 한다.

(나) 전기, 전자 및 통신장치의 상호간 간섭이 없어야 하며 유도 및 복사에 의한 방사 때문에 기기의 운용이나 안전에 영향이 없어야 한다.

(다) 전장품의 냉매는 무독성이어야 하고, 환경적으로 안전하며 불연성이어야 한다.

(라) 차량의 화재 시에는 초기에 이를 감지하여 경보장치가 작동되도록 한다.

(5) 소음, 진동, 승차감

(가) 직선평탄선로를 최고운행속도로 공차상태 운행시 차량에 발생하는 진동가속도가 UIC 의한 승차감계수 2.0이하(매우양호)를 만족시켜야 한다.

(나) 정차중 모든 보조장치와 에어컨이 가동되는 상태에서 객실 내 소음은 개활지에서 60dB(A)이하를 만족해야 한다.

(다) 직선평탄로를 최대운행속도로 공차상태에서 운행했을 때 차량의 중심선 상 1.2m

높이와 측출입문의 중심선과 만나는 지점에서 측정한 소음은 70dB(A)Leq 이어야 한다.

(라) 최대운행속도로 주행시 개활지에서 선로 중심으로부터 선로 직각방향로 25m, 레일 상면으로부터 1.2m 높이의 선로변 소음은 65dB(A)Leq 이하를 만족해야 한다.

(마) 역사내의 정차장내 소음은 궤도 중심선에서 수평으로 3m, 승강장 바닥에서 1.5m 높이에서 70dB(A)Leq 이하이어야 한다.

(사) 차량의 모든 기기는 정상 주행 중에 발생하는 진동과 충격이 가해져도 성능의 저하나 손상 업이 운용될 수 있도록 설계되어야 한다.

(6) 차체와 설비

(가) 일반

- 차량의 외형과 색은 환경 친화적이고 한국고유의 심미성, 첨단성, 편의성, 쾌적성 등을 고려한 형상이어야 한다.
- 차량 재질은 일반강, 알루미늄, 스테인리스 등 금속재료 또는 Glass-FRP, Carbon-FRP 등 복합소재를 적절히 혼용할 수 있다.

> 차체재질은 복합소재로 제한하기 보다는 복합소재와 금속재료를 적절히 선택할 수 있도록 하여 미려도, 경제성, 제작성(성형성), 환경성, 안전성, 유지보수성 등을 최적화할 수 있도록 요구사항(안)을 검토하였음.

- 차체 • 설비는 『도시철도차량안전기준에관한규칙』에서 규정된 재료를 사용해야 하며, 화재방지 구조로 하여야 한다.
- 차체는 최대하중의 운행조건하에서 시스템의 기능을 만족하도록 강성 및 강도를 가져야 한다.
- 차체의 구조 및 재질은 경량화, 저비용으로 제작할 수 있는 최적의 구조체 이어야 한다.
- 차체에 적용되는 모든 부품은 부식되지 않도록 하여야하며, 화학적 성질이 다른 이종금속이 접촉하는 부위에는 전기적인 부식방지를 위한 모든 예방조치를 취하여야 한다. 스크류, 볼트 및 너트 체결부와 같은 연결부위는 차량진동에 의한 풀림이 방지되는 구조이어야 한다.
- 차체는 동일도면에 의해 제작되어야 하며, 주요부품의 조립과 구체조립을 위한 주요 치수는 허용공차 이내로 관리하여야 한다.

- 차체는 한국 산업규격(KS R 9145: 철도차량의 방수시험방법)에 의한 방수시험을 만족하여야한다.
- 차량의 전면에는 궤도상의 장애물 제거를 위한 배장기를 설치해야한다.
- 성인 4~6명의 충분한 공간의 좌석 확보를 해야 한다.
- 차량당 2개의 출입문 확보 및 개방성 확보를 해야 한다.
- 비상시를 대비하여 작동이 용이한 승객비상 탈출구를 설치해야 한다.

4~6인승 차량에 2개의 출입문과 별도의 승객 비상탈출구를 설치할 수 없을 경우에는 기존 출입문을 비상탈출구로 활용할 수 있도록 비상개폐방안을 마련할 수 있음.

(나) 구조체
- 구조체는 수직하중(승객하중 및 각종 기기 하중) 및 수평하중을 지지하는 역학적으로 타당한 구조를 가져야 한다.
- 차체는 외형과 내형의 결합형으로 운행에서 필요한 강성 및 충돌, 추돌시 승객의 안전을 확보할 수 있는 차체 강도를 가져야 한다.
- 상하기기에서 발생하는 각종 소음의 차단을 위해 필요시 하부에는 별도의 방음, 방청처리를 하여야한다.
- 차체는 여러 부품들 간의 결합부위의 응력집중을 최소화하여야한다.
- 차체 외형은 방수구조가 되어야 한다.

(다) 차체의 강도
- 차체는 차량 구조체 하중시험 방법에 따라 측정된 응력값이 차체재질의 항복응력 이내에 있어야한다.
- 최대하중시 출입문의 동작이 원활하여야 한다.
- 차량의 충돌 추돌시 일정이상의 안전성을 확보하여야 한다.

(라) 차체 실내
- 실내분위기는 단순하고 침착하며 쾌적한 승차감을 주는 구조로 하며, 배색의 조화로 편안한 공간을 제공하여야 한다.
- 바닥구조재는 객실내의 바닥기능과 상하로부터 단열 및 방음의 기능을 가져야 한다. 또한 바닥구조재는 불연성, 내마모성, 내화학성, 내열성 등의 기능을 가져야 하며, 변색 등의 이상이 발생하지 않고 습기에 의한 미끄럼을 방지해야 한다.
- 내장재는 강도와 내구성을 가진 자기 소화성이상 등급의 내장재를 사용하여야 한

다. 또한 내장재는 유지보수가 쉽고, 충격, 낙서, 긁힘 등에 견디어야 한다. 내장재 연결부에는 외관이 미려하도록 처리하여야 하며, 실내의 모든 설비는 날카로운 모서리나 흠집이 없도록 하여야 한다.

(마) 차체부품
- 차체에 적용되는 모든 부품은 부식되지 않도록 하여야 하며, 화학적 성질이 다른 이종금속이 접촉하는 부위에는 전기적인 부식방지를 위한 모든 예방조치를 취하여야 한다. 스크류, 볼트 및 너트체결부와 같은 연결부위는 차량진동에 의한 풀림이 방지되는 구조이어야 한다.

(바) 차체방수
- 차체는 한국산업규격(KS R 9145: 철도차량의 방수시험방법)에 의한 방수시험을 만족하여야 한다.

(사) 연결장치
- 차량간 연결장치는 선로의 최소곡선 통과 시에도 수직 및 수평방향으로 정상적인 작동이 되도록 하고, 차량간 상이한 견인력 및 제동력에 대한 강도를 가져야 하며 충격을 흡수할 수 있는 구조이어야 한다.

(7) 차대(chassis)

(가) 일반
- 차대는 차체 및 차체에 작용하는 하중지지 및 견인력과 제동력을 전달함과 동시에 차량의 주행은 최고속도를 만족하고, 이와 관련하여 안전성 유지, 최소곡선통과 및 최대구배통과를 수행하는 장치이어야 한다.
- 차대는 승차감이 좋고, 소음이 적으며 유지보수가 용이한 구조로 한다.
- 회전부나 견인장치 등 극히 일부부품을 제외하고는 마모 부분이 없어야 한다.
- 액슬장치 및 감속기 등 밀폐구조로 된 장치는 모래나 먼지 등이 침입되지 않도록 하여야 한다.
- 차대는 차량한계 및 건축한계를 만족하여야 하며 차량의 최대하중조건 및 충격하중에서도 안전하게 운행되어야 한다.
- 차대의 스프링장치는 차체와의 공진을 피할 수 있게 설계되어야 한다.
- 스프링하 질량(Unsprung Mass)은 가능한 한 최소화한다.

(나) 주요제원
- 주행륜 : 고무타이어 또는 경질고무(우레탄 포함)
- 안내륜 : 고무타이어 또는 경질고무(우레탄 포함)

- 분기륜 : 고무타이어 또는 경질고무(우레탄 포함)

> PRT 차량이 기계적인 안내/조향/분기장치가 아닌 전자기 안내방식으로 안내조향될 경우에는 안내륜과 분기륜을 설치하지 않을 수 있음.

- 동력전달방식 : 차륜독립구동방식

> 동력전달방식은 차륜독립구동방식을 유지하되 유성기어방식 뿐만 아니라 헬리컬 기어방식 등 국내에서 기존 기술을 응용할 수 있도록 함.

- 기초제동방식 : 디스크(Disk) 제동방식

(다) 차대틀

- 완성된 차대틀은 응력제거 공정을 거치도록 한다.
- 차대틀은 용접구조용 강재를 사용한 전용접 경량구조이다.
- 차대틀의 조립은 응력집중을 해소하도록 보강한다.
- 차대틀 설계시 구조해석은 유한요소법등 범용화된 해석기법을 적용하고, 제작후 강성 및 강도는 검증되어야 한다.
- 차대틀은 발생 가능한 하중조건에서 계산한 주응력과 변동응력이 재료의 응력한계 선도에서 피로응력 범위 내에 있도록 하여 영구변형이 발생하지 않도록 한다.

(라) 액슬장치

- 축베어링은 로울러 베어링으로 차축을 지지하는 구조이며, 그리이스(Grease) 누출 및 오염물질 침입방지를 위해 밀폐되도록 한다.

(마) 지지 및 완충장치

- 각 스프링장치는 차량의 안전성과 유연한 주행특성이 유지되도록 한다.
- 주행륜은 운전중 파열시 정상운전이 가능한 구조이어야 한다.
- 차체와 차대사이의 횡방향 변위는 차량한계 및 건축한계를 적용한다.
- 고무부품은 차량운용 기후조건에서 정상적인 성능이 유지되도록 하며 시험은 한국산업규격에 따른다.

(바) 동력전달장치

- 곡선부 주행 시에도 원활한 동력전달이 가능한 구조로 한다.
- 구동장치와 주전동기는 운행중 조립볼트 파손시에도 차체에서 탈락되지 않는 구조로 한다.

(사) 기초제동 장치

- 차대의 기초제동 방식은 디스크방식으로 하며, 제륜자 및 라이닝은 비석면재질로

한다.

- 기초 브레이크 장치는 라이닝(Lining)과 디스크사이의 일정한 간격이 자동으로 유지되는 구조이거나, 일정한 간격유지를 위해 자동 간격 조정장치를 적용한다.

(아) 분기장치

- 분기부에서 차량의 제한속도가 정상 운행속도에 근접할 수 있도록 높은 내구도와 신뢰도를 가져야 한다.
- 분기장치는 궤도에 설치되는 분기레일과 원활한 상호작용이 이뤄져야하며, 안내레일, 전력공급장치 등 주행궤도에 설치되는 각종 기기와 어떠한 운행조건 하에서도 기하학적 간섭이 발생해서는 안 된다.

> PRT 차량이 기계적인 안내/조향/분기장치가 아닌 전자기 안내방식으로 안내조향될 경우에는 분기장치를 별도로 설치하지 않을 수 있음.

(8) 차량전기장치

(가) 고전압 장치

- 고전압 장치는 집전기, 피뢰기, 주퓨우즈, 차단기 등으로 구성한다.
- 집전기는 유도급전방식용 집전방식 또는 매몰식 제3궤조에 적합한 집전방식으로 중복 설치하여야 한다. 단, 배터리 추진방식일 경우 충전장치가 적절히 설치되어야 한다.

> 집전기는 차량전원공급방식에 따라 선택될 수 있도록 하였음.

- 피뢰기는 비선형 저항소자를 사용한 무간극형으로 하며, 차량하부에 설치하여 유도급전레일 또는 제3궤조로부터 유입되는 낙뢰 및 써지(surge)전압으로부터 차량을 보호하여야 하고, 방폭구조로 한다.
- 주퓨우즈는 집전장치의 출력단에 설치되어 주회로의 지락이나 단락 등 고장발생시 용단하여 과전류를 차단하여야 한다.
- 차단기는 제어전원만을 사용하여 투입 및 차단되어야 한다.
- 필터리액터는 차량의 운행시 부하변동에 따른 전류량의 변화에 대하여 자기포화가 없어야 한다.

(나) 추진장치

- 추진장치는 인버터와 견인전동기로 구성하며, 차량의 역행 및 회생제동 기능을

수행한다.

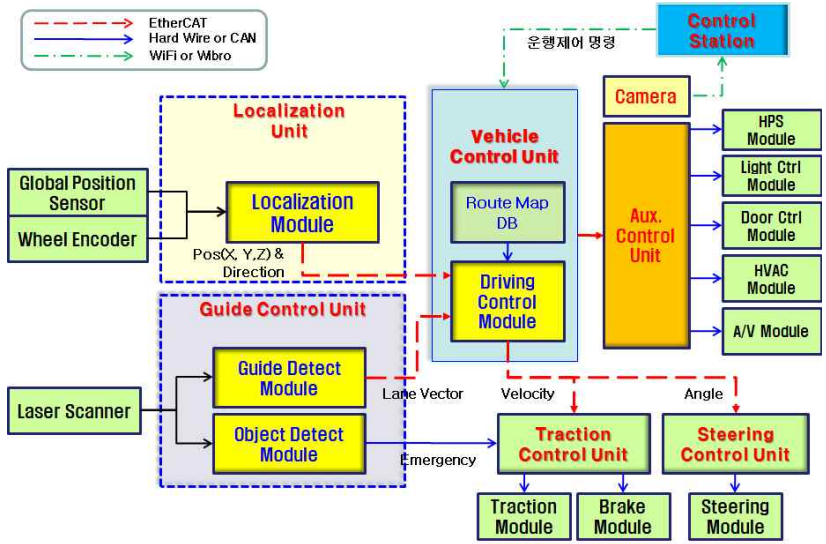
- 인버터는 전압원 인버터로 하며 견인전동기를 제어하고 각 구성요소는 모듈화한다. 인버터는 고장이 발생한 경우 고장 회로를 전기적으로 분리할 수 있도록 한다.
- 인버터는 차량의 운행제어장치와 연계하여, 각 부위의 동작상태 및 고장시 상황을 운행제어장치로 전송하도록 한다.
- 견인 전동기는 동기전동기로 하며, 고정자와 회전자는 고조파 전류에 의한 온도 상승과 손실을 억제할 수 있는 구조로 한다.
- 베어링의 윤활방식은 주유관부 밀봉형 그리이스(grease) 윤활방식으로 하며, 차체를 흐르는 누설전류 등에 의한 전식을 방지할 수 있는 구조로 한다.

(다) 보조전원장치

- 보조전원장치는 일정 전압, 일정 주파수 제어의 정지형 인버터 및 출력변압기와 충전기, 축전지로 구성되며 가선으로부터 집전된 전원을 차량의 냉•난방기, 공기 압축기, 조명기기, 송풍기, 제어기기 및 기타 보조전원을 필요로 하는 각종 기기에 안정된 전압을 공급하도록 한다.
- 출력 변압기는 인버터로부터 공급받은 전압을 정격출력전압으로 변환시켜 출력하며 필터의 기능으로 3상 전압의 고조파 성분이 극소화되도록 한다.

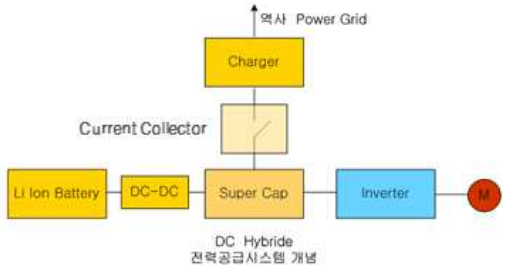
(라) 주행제어장치

- 차량의 주행을 제어하기 위해 차상에 설치된 전기장치간의 인터페이스는 레이저 안내 방식을 적용한 것으로 다음 그림과 같이 구성된다.



<그림 3.4.5> PRT 주행제어장치 구성 개념도

- 유도급전, 정거장 접촉식에 의한 충전방식의 배터리의 제어 개념도는 아래 그림과 같다.

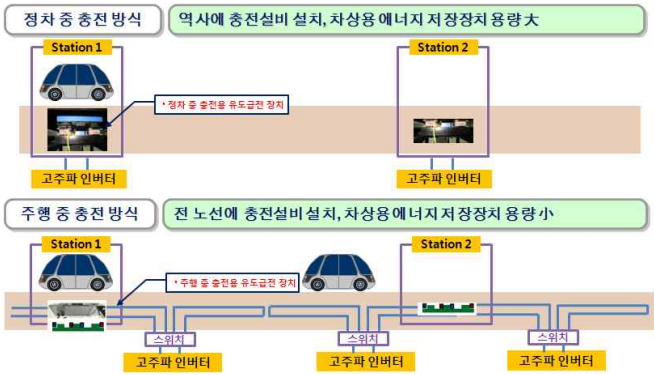


<그림 3.4.6> 충전방식의 배터리 제어개념도

(9) 제동

(가) 일반

- 제동장치는 상용제동, 비상제동, 보안제동, 주차제동 및 정차제동 기능을 갖도록



<그림 3.4.7> 유도급전에 의한 전원공급 개념

한다. (보안제동의 채택유무는 차후에 결정)

- 제동장치는 회생제동 병용 유압제동으로 하며, 신뢰성 및 안전성이 우수하고 응답이 빠르며 정밀한 제어가 되도록 한다.
- 전기제동이 주가 되고 부족분을 유압제동이 보충하는 방식으로 하며 전기제동의 고장 또는 실패의 경우에도 유압제동으로 자동전환되어 요구제동력을 만족시킬 수 있도록 한다.
- 유압제동장치는 차상운행제어장치와의 협조제어로 져크제한(Jerk Limitation) 기능을 가지며 승차감 향상을 위한 저소음, 저진동의 구조로 한다.
- 점착한계 내에서 유효 회생제동을 최대로 하기 위해 회생제동과 유압제동 사이의 일괄교차제어(Blending)가 적용되어야 하며, 전기제동력과 유압제동력의 합이 요구제동력을 만족시켜야 한다.
- 제동작용은 차량중량에 비례한 제동력이 유지될 수 있도록 응하중 제어기능을 가져야 하며, 응하중 장치의 파손 및 고장시에도 가·감속은 공차시보다 작거나 만차시보다 크지 않도록 한다.
- 비상운전 모드에서는 주간제어기의 제동명령에 의해, 수동/자동/무인운전모드에서는 차상운행제어장치의 제동명령에 의해 제어되도록 한다.
- 유압제동 장치의 이상발생시 이에 대한 모든 정보는 기록 및 현시되게 하며 주요 고장은 경보를 발생하도록 한다.
- 차량에서 추진장치(견인전동기) 고장시, 유압제동으로 전환 작용되고 정상인 동력 차축에는 전기제동 작용이 계속되도록 한다.
- 유압제동 장치의 모든 기기 및 부품은 유지 보수성의 향상을 위하여 최대한 동일함 내에 설치하도록 하며, 경제적인 시스템이어야 한다.

(나) 제동별 주요기능

- 상용제동

· 상용제동은 운전자에 의한 주간제어기의 핸들조작 또는 차상운행제어장치로 부터 지령을 받아 전기제동과 유압제동으로 작용하며 전기제동이 최대가 되도록 연속적으로 병용되어 이루어지도록 한다.

- 비상제동

· 비상제동은 차량의 운행안전 확보를 위해 상실시 안전화(Fail-Safe) 구조로 구성한다.

· 비상제동은 비상제동 요인이 제거되지 않는 상황에서는 완해되지 않도록 한다. 단, 비상제동 스위치 조작 또는 주제동압력 부족으로 체결된 비상제동은 비상제동 완해스위치에 의해 완해될 수 있도록 한다.

- 정차제동

· 차량의 정차시 확실한 정지제동력 유지 및 원활한 구배기동이 가능하도록 정차제동 기능을 갖추어야 하며, 정차제동력은 최대하중상태로 노선 최대구배에서 정지상태를 유지할 수 있어야 한다.

· 자동으로 정차제동이 체결되는 조건은 다음과 같다.

◦ 차량의 정지상태

◦ 객실 출입문이 열려 있을 때(단, 정차시 주간제어기를 역행위치로 옮기거나 수동/자동/무인운전시 역행 신호가 입력되면 자동완해 되어야 한다).

- 주차제동

· 주차제동 체결상태로 주행하는 사고를 예방하기 위해 주차제동 제어계통은 역행회로와 인터록킹(Interlocking)되어야 한다.

2. 전력공급

가. 전력공급시스템의 특성

PRT 시스템의 전력공급시스템은 정시성, 신뢰성, 안전성, 편의성을 확보할 수 있고 무인 운전이 적절하며, 에너지 이용효율이 높은 경제적인 시스템이어야 한다.

■ 정시성 확보

- 전력 계통을 이중계로 구성하여 비상시 신속하게 예비기나 연장급전이 가능

- 사고 구간을 분리할 수 있도록 구성하여 정상 구간에서 차량 운행 확보

■ 신뢰성 확보
- 전력 계통 및 원방제어장치의 예비용 기기를 설치하여 비상시 자동 절환
- 신속하고 선택 특성이 우수한 보호 방식의 적용
- 엄격한 품질관리 체계를 제작단계부터 적용

■ 안전성 확보
- 승객 및 운영요원의 사고를 방지할 수 있는 보호 계전 방식의 적용
- 타 현장에서 검증된 시스템을 적용

■ 편의성 확보
- 계통을 단순하고 동일하게 구성하여 운영자의 조작이 용이할 것.
- 기기의 사양을 동일하게 선정하여 예비품 확보가 용이할 것.
- 소형 경량 기기를 선정하여 부품 교체가 용이할 것.

■ 경제성 확보
- 유효 수명이 긴 기기를 선정하여 유지 보수비용의 최소화
- 고효율 기기 및 합리적인 설비 계획을 수립하여 에너지 비용 최소화
- 모든 설비를 원방제어 및 감시가 가능하도록 구성하여 무인화 운전을 실현
- 시스템의 특성 및 주변 환경을 고려한 전체 사업비의 최적화

(1) 급전방식

차량의 구동은 자체 배터리를 이용한 방법과 전력선을 통해 상시 전원 공급에 의한 방법이 있다. 배터리를 이용하는 방법과 상시전원공급의 장단점은 표 3.4.2와 같다.

<표 3.4.2>급전방식에 따른 특징 비교

분류	배터리	상시전원
급전시설	충전 장소에만 급전 시설 필요	전체 가이드웨이에 급전 시설 필요
충전시간	2분 이상 필요	필요 없음
무게	불리	유리
유지보수	-	-
폐기물	많다	적다

(가) 배터리 내장
- 모든 주행궤도에 급전시설을 설치할 필요가 없다. 따라서 시스템 구성을 단순화할 수 있다.
- 차량의 무게가 늘어난다.
- 2분 이상의 충전을 위해 정차하는 시간이 소요된다.
- 충전을 통한 이동거리가 길지 않다. 따라서 임의의 위치에 고속 충전시설이 필요하다.
- 배터리를 내장하는 방법은 배터리의 수명이 다할 경우, 배터리를 교환해주어야 한다.

(나) 전력선을 통한 상시전원 공급
- 모든 가이드웨이에 전력선을 설치해야 한다는 단점이 있다.
- 상시 전원 공급은 차량에 배터리가 장착되지 않으므로 많은 배터리 장착으로 인한 차량의 무게 증가로 인한 문제가 없다.
- 충전에 따른 정체 문제가 없다.
- 운행거리의 제한이 없다.
- 전원 공급장치의 유지보수만 하면 되므로 유지보수가 용이하다.

① 교류급전방식

보통 한전에서 받아들이는 전압을 급전을 위한 전철용 변전소를 거쳐 사용되며, 급전선이 차량의 운행 궤도를 따라 설치되므로 그 특징을 열거하면 다음과 같다.

○ 교류급전방식은 고전압 교류전력을 사용하므로 통신선 및 신호선에 대한 유도장애가 크다.
○ 교류급전방식은 전차선이 직류방식에 비해 운전전류가 적으므로 소요 동량(銅量)이 적다.
○ 교류급전방식은 높은 전압을 사용하므로 절연 이격거리가 크다.
○ 교류급전방식은 변전소 위치 선정의 자유도가 크며, 간격이 직류급전방식에 비해 크다.

② 직류급전방식

직류급전방식은 한국전력으로부터 수전한 전원을 전철용 변전소를 통하여 경량전철에 공급하는 것과 동일한 방식이며 전철용 변전소로부터 공급된 전원은 급전선을 통하여 집

전장치로 집전되며, 이 전원은 제어장치를 통해 견인전동기를 구동하는 방식이다. 직류급전방식에 대한 특징을 요약하면 다음과 같다.

○ 변압기 및 정류기를 변전소에 설치함으로써 차량 시스템 구성시 중량 및 부피를 작게 할 수 있다.
○ 교류급전방식에 비해 통신선에 유도장애를 줄일 수 있다.
○ 교류급전방식에 비해 변전소 개수가 많아지며, AC-DC를 위한 지상 급전 설비가 요구된다.
○ 급커브시 급전설비 설치의 제약이 따른다.

(2) 시스템 구성

(가) 수전전압의 선정
- PRT 시스템의 특성상 차량 및 정거장 부대설비 동력규모가 기존 도시철도에 비하여 상당히 작으므로, 수전선로 계획에 대하여 새로운 접근이 필요하다.
- 따라서, 차량용 전원은 부하의 변동특성 및 용량을 고려하여 한전으로부터 전용 수전선로로 특고압(교류 22.9KV)으로 직접 수전을 받고, 정거장 부하는 인접 저압배전선로에서 저압(교류 380V)로 공급받는 것이 유리하다.

(나) 배전선로의 구성
- 전철변전소간 및 정거장 전기실간 선로를 연결하여 비상시 인접 변전소나 전기실로부터 전원을 공급받을 수 있도록 시스템을 구성하는 것이 좋다.
- 단, PRT 시스템의 선로구축물에 배전선로를 포설할 수 있는 공간 확보방안에 대하여 좀 더 상세한 검토가 필요하다.

(다) 전차선로 급전계통의 구성
- 장애구간의 최소화 및 시스템 유연성 등을 고려하여 방면별 급전방식을 선정키로 하며, 급전계통은 절연섹션을 사용하여 구분한다.

(라) 변전소 적정간격의 선정 및 변전설비의 구성
- 변전소의 적정간격은 차량이 고무차륜으로 구성되므로 누설전류에 의한 전기부식은 고려하지 않고 전압강하와 보호계전기 동작을 고려하여 선정한다.
- 또한 하나의 하부시스템에 장애가 발생한 경우에도 지속적으로 전원을 공급할 수 있도록 예비설비를 설치하여 장애 뿐 아니라 유지보수가 가능하도록 하여야 한다.

(마) 정거장 전기설비
- 정거장 부대설비의 전원공급 뿐 아니라 신호 및 통신용 전원을 공급하는 전기실과 조명 및 전열설비로, 무인으로 안정된 전원을 공급할 수 있도록 원격제어 및 스케쥴 제어가 가능하도록 구성하여야 한다.

(바) 전차선로설비
- 차량의 집전장치와 습동(褶動)하면서 차량의 전원을 공급하는 설비로, 차량의 집전장치의 구성형태 및 동작특성, 차량의 최대운전속도, 선로의 특성 등을 고려하여 적절한 시스템이 선정되어야 한다.

(사) 원격 감시/제어설비
- 변전설비 및 정거장 전기설비의 운영 상태와 전차선의 가압 여부를 감시하고 제어하는 설비로 중앙사령실 및 현장에서 직접 제어할 수 있도록 구성되어야 한다.

(3) 급전방식

(가) 급전 방식의 선정

① 급전 방식의 종류

<표 3.4.3> 급전 방식의 종류

구 분	방면별 일괄 급전방식	상·하행선 분리 급전방식
구성방식	직류고속도 차단기 1대로 동일 방향의 상선 및 하선 전원을 일괄하여 공급	직류고속도 차단기를 상선 및 하선 그리고 방면별로 각각 설치하여 전원 공급

② 급전 방식의 비교

<표 3.4.4> 급전 방식의 특성비교

구 분	방면별 일괄 급전방식	상·하행선 분리 급전방식
급전 회로	단 순	복 잡
설치 공간	좁 다	넓 다
경 제 성	우 수	낮 다
유지보수비	적 다	많 다
정전 구간	사고 발생시 상·하행선 동시 정전	사고 발생 구간만 정전
신 뢰 성	낮 다	높 다

방면별 일괄 급전방식은 전차선에서 사고가 발생하면 상선 및 하선이 동시에 차단되고 차량은 사고구간 전단에서 회차하여 정상 운행을 하며, 사고 구간의 정상 선로는 단로기를 개방한 후 운행이 가능한 방식이다. 상하행선 분리 급전방식은 전차선에서 사고가 발생하면 사고가 발생한 구간만 차단되므로 계통의 변경 없이 정상 선로는 연속하여 차량의 운행이 가능한 방식이다. 경제성 및 계통의 신뢰성면에서 각 방식은 상반되지만, PRT시스템은 다수의 승객이 사용하는 설비로써 신뢰성 및 연속 수송 능력이 필수적인 요소이므로 상·하행선 분리 급전방식을 적용한다.

(4) 주요 설비

(가) 교류 차단기

① 형식 비교

<표 3.4.5> 차단기 형식 비교

구 분	진공 차단기(VCB)	가스 차단기(GCB)	가스절연 차단기(GIS/VCB)
모선의 절연방식	공기 절연	공기 절연	SF6 가스 절연
아크 소호 방식	진공 밸브	SF6 가스	진공 밸브
서지 흡수장치	설 치	필요 없음	설 치
내전압 특성	적 합	적 합	적 합
소 음	보 통	보 통	보 통
차단기 교환	용이함	용이함	SF6 가스 제거 후 교환
방재 특성	우 수	우 수	우 수
설치 공간	보 통	보 통	작 음
가격 비교	100%	130%	300%

② 검토 결과

진공 차단기는 몰드 변압기와 같이 사용하는 경우 개폐 서지(surge) 전압을 흡수하기위한 서지 흡수장치를 차단기 2차측에 설치하여야 하지만, 최근 低서지형

진공 차단기가 개발되어 상용화 되어 서지전압이 매우 작아졌으며, 전기적 특성이 전원 공급용으로 적합하다. 또한 진공차단기는 가격이 낮을 뿐 아니라, 진공 차단기나 가스 차단기를 적용하여 차단기반을 제작할 경우, 배전반의 설치 공간의 큰 차이가 발생하지 않는다.

따라서 PRT 시스템 전원 공급용으로 전기적인 성능이 충분할 뿐 아니라 경제성이 우수하다.

(나) 변압기

① 절연 방식에 의한 비교

<표 3.4.6> 절연 방식에 의한 특성비교

구 분	MOLD 식	건 식	유입식
절연 종별	B/F종	H종	A종
권선의 온도상승 한도	80/100℃	125℃	60℃
전력 손실	소	대	중
절연 특성	안 정	불 안 정	안 정
연 소 성	난 연 성	난 연 성	가 연 성
방 화 벽	불 필 요	불 필 요	필 요
유지 보수	불 필 요	불 필 요	필 요
소 음	중	대	소
설치공간	소	중	대
사용장소	옥 내	옥 내	옥내/옥외

② 결선 방식에 의한 비교

<표 3.4.7> 결선 방식에 의한 특성비교

구 분	3권선 변압기	4권선 변압기
구 성	1개의 변압기 뱅크(bank)로 구성	2개 변압기 뱅크(bank)로 구성
결 선	△/△-Y	△-△/△-Y
크기 및 중량	4권선 변압기보다 작다	-
임피던스	1차와 2차, 1차와 3차간의 임피던스가 거의 동일함	두 개 변압기 뱅크간 임피던스 불평형이 발생됨.
직류 전압 변동율	작 다	크 다
효 율	높 다	작 다
1차 케이블	-	3권선의 2배 필요
가 격	100%	130%

(다) 정류기

<표 3.4.8> 정류기 형식 비교

구 분	다이오드 정류기	사이리스터 정류기
정류 소자	다이오드(diode)	사이리스터(thyristor)
출력 전압	부하가 증가하면 감소	부하가 증가하면 증가
고조파 함유	적 다	많 다
고조파 필터	필요 없음	필 요
변전소 간격	100%	150%
정류기용 변압기 용량	정류기의 약1.14배	정류기의 약 1.5배
유지 보수	용이함	어려움

(라) 직류 차단기

<표 3.4.9> 차단 방식에 의한 특성비교

구 분	기중 차단 방식 (HSCB)	사이리스터 차단방식	진공 차단 방식
소호 원리	공기중에서 아크 슈트내의 아크 확산	없음	진공중에서 아크의 확산
조작 방식	전자 구동 장치	게이트의 점호	스프링 압축력
서지 전압 발생	대	소	소
내전류 특성	강	약	강
절연 특성	강	약	강
전류 방향	양방향성	단방향성	양방향성
발 열 량	소	대	소
방 재 성	불 리	양 호	양 호
주접점 점검	필 요	불필요	불필요
소 음	대	없음	소

(마) 전차선로 설비

- 시스템 구성

PRT 시스템에 전차선로 설비를 적용할 경우 고무차륜 차량을 사용할 경우, 궤도측면에 설치된 제3궤조에서 정극과 부극전류를 차량에 공급한다.

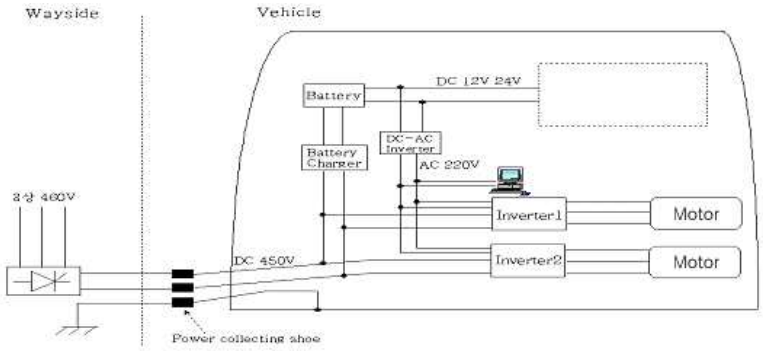
- 구성 요소
  - 도전 레일 (Conductor Rail)
  - 도전 레일 접속 장치 (Rail Joint)
  - 열신축 접속 장치 (Expansion Joint)
  - 도전 레일 고정 장치 (Mid-Point Anchor)
  - 절연 지지대 (Insulated Support Assemblies)
  - 습동 완화 장치 (Ramp)
  - 보호용 덮게 (Protective Covers)
  - 견인용 촉륜 장치(Tow Trolley System)
  - 케이블 접속 장치 (Continuity Cabling)
  - 절연 접속 장치 (Insulated Rail Joint)

• 구성시 고려사항

- 제3궤조는 궤도면에 낮게 설치되므로 승객 및 작업자의 안전을 확보하기 위하여 안전 보호 장치가 시설되어야 한다.
- 차량의 집전장치의 특성과 운행 속도에 적합한 방식을 적용한다.
- 제3궤조 도체의 단면적은 변전소 설치 간격과 토목구조물의 크기 등을 종합 검토하여 적정한 크기를 선정한다.
- 주행 중인 차량의 진동을 고려하여 규정된 이격거리를 유지하여야 한다.
- 오염이나 빙설로 인하여 차량 집전장치의 집전 효율이 떨어지지 않도록 한다.

(바) 차량 전력설비

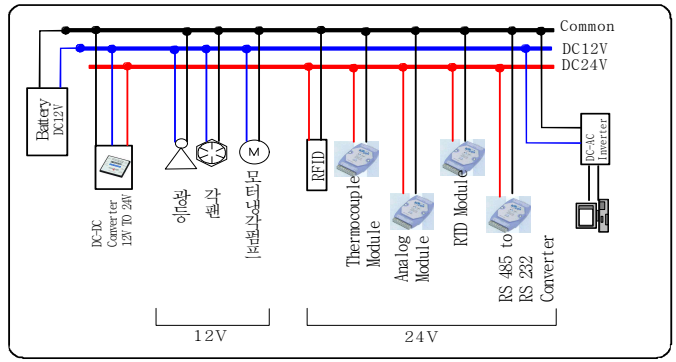
차량 전력설비는 그림 3.4.8과 같이 DC 450V, AC 220V, DC 12V 24V로 구성될 수 있다.



<그림 3.4.8> 차량 전력설비(예)

(사) 무정전 전력공급 시스템

무정전 전력 공급 시스템은 그림 3.4.9와 같이 차량의 전장품에 전력을 공급한다.



<그림 3.4.9> 무정전 전력공급 시스템(예)

제어실과 차량과의 상호통신을 위하여 차량의 인버터 및 컴퓨터는 전력을 계속 공급받아야 한다. 주전원을 변성하여 공급받을 경우 고장 등으로 전원이 차단되면 제어실과 차량과의 상호통신이 끊어져 차량은 제어 불능상태가 된다. 무정전 전력(Battery)을 제어실과 차량과의 안정된 통신이 가능하다.

나. PRT 전력시스템 구성 및 인터페이스 요구사항

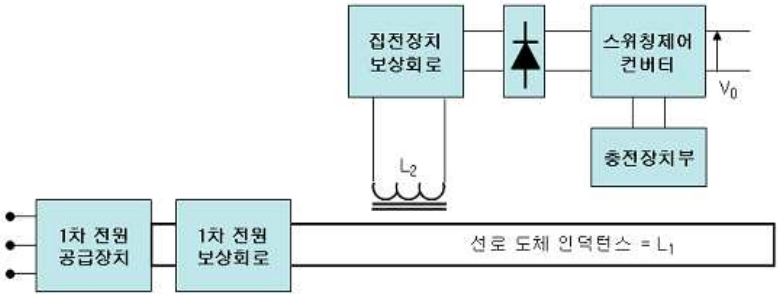
해외 PRT시스템의 연구 실용화에 선례를 가지고 있는 각국의 추진방식, 급전방식, 소비전력, 크기 및 탑승정원은 다음 표 3.4.10과 같다. 차량의 전력공급 방식은 제 3궤조방식과 배터리 방식이 적용되고 있는 것으로 조사되었다.

<표 3.4.10> 해외 PRT시스템 추진방식/급전방식/소비전력/크기/정원

시스템	추진방식	급전방식	소비전력 (주행시:kW)	L×W×H	탑승 정원	비고
Taxi 2000	LIM	Third rail	4~20	3.3×1.63×1.37	3	미국
PRT 2000	회전모터	Third rail	8~40	4.3×1.68×2.66	4	미국
ULTra	회전모터	Battery	2~12.5	3.7×1.45×1.6	4	영국
FlyWay	회전모터	Third rail	-	3.3×1.7..	5	-
SkyCab	회전모터	Battery	-	3.5×1.5×1.5	4	-
CVS	회전모터	Third rail	-	-	4	-
Pathfinder	회전모터	Battery	-	-	4-5	-

제3궤조 방식은 집전 연결부분(shoe)와 제 3궤조 사이의 접촉을 이용한 집전방식으로서 기존 가공전차선 방식에 비해 급전거리가 짧아지고, 전압강하 및 전식이 큰 단점이 있다. 그러나 외부노출이 없고 수명이 길다는 점이 특징인 접촉방식의 급전방식이다. 또한 지주 구조가 간단하여 도심지 미관에 적합한 접촉식 집전방식으로 국내 경량전철 시스템에 채택된 방식이다.

배터리 방식은 아직 국내 철도차량에 실용화된 사례는 없으나, 바이모달 트램 및 무가선트램에서 적용하여 검증 중에 있다. 1회 충전시 짧은 주행거리와 긴 충전시간 등의 문제가 제기되었지만, 기존 접촉식에 의한 집전장치의 유지보수 및 관리비용의 문제를 해결할 목적으로 도입되었다. 다만 PRT의 경우 정거장간 거리가 짧고 용량이 적으므로 그 효용성은 더욱 높다. 유도급전 방식은 차량의 고속화에 대비한 집전대안으로 자기부상열차에 도입되었으며 급전/충전을 위한 급전선은 노선 전체에 설치되지 않아 도심지 미관에 적합하지만, 짧은 시격으로 운행되어야 하는 PRT 시스템에 적용시 신뢰성을 확보하여야만 한다.



<그림 3.4.10> 유도급전방식의 개략도

제3궤조 및 유도급전 방식에서 설치가 필요한 지상 및 차상 급전 설비를 비교하면 다음과 같다.

<표 3.4.11> 급전방식에 따른 지상/차상 급전설비

	유도급전	제3궤조
수전전압	AC 3상 22.9kV	AC 3상 22.9kV
사용전압	AC 3상 380V	DC 1,500V, 750V AC 600V, 660V
지상 설비	· 역사내 AC-DC 정류기, 고주파 공진형 인버터, 차량위치 감지 및 충전 Bay on/off를 위한 센서 및 스위치 ※제3궤조 설치 불필요	· AC-DC를 위한 정류기 및 급전용 변압기 ※가이드레일을 따라 3~4km 간격으로 설치 · 제 3궤조 설치(차량 양쪽)
차량설비	· 집전장치 필요(유도체) ※기계적 압착력 조절 장치 불필요 · 공진 컨버터 · 배터리 및 충전시스템	· 집전장치 필요(집전 Shoe) ※기계적 압착력 조절 장치 필요 · 평활회로

(1) 유도급전 시스템

(가) 유도급전 시스템은 고주파 전원공급장치(Power Conversion System)를 필요로 하므로 고주파 인버터 회로로 이해할 수 있으며, 일반 인버터에 입력되는 입력전원은 한국전력으로부터 교류 3상 22.9kV을 공급받아 3상 380V를 사용한다. 공급된 전원을 적용하여 역사 내 5대의 차량이 정차할 경우, 충전 Bay가 5개라는 점을 가정하여 역사 당 100kW 이하의 전력용량을 공급할 수 있어야함을 가정하여 다음과 같은 요구사항을 만족하여야 한다.

① 유도급전 방식은 수전 전압이 낮으며, 급전 장비가 궤도와 함께 연장 설치되지 않는 특징을 가져 일반 교류급전방식에 비해 통신선 및 신호선에 대한 유도장애를 감소 시켜야 한다.

② 기존 전차선 방식과 비교하여 소요 동량(銅量)이 적어야 한다.

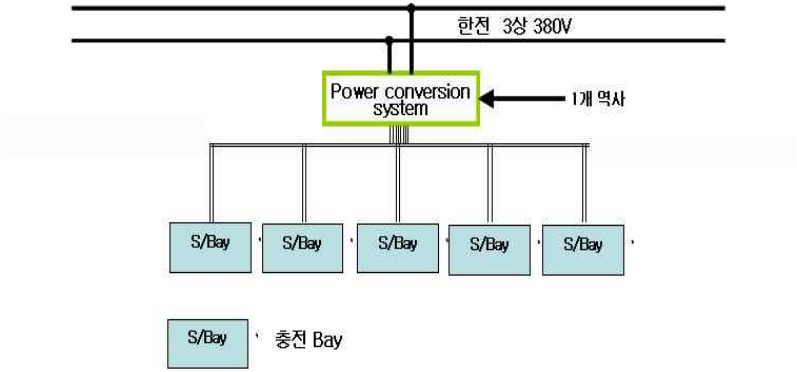
③ 교류급전방식의 절연 이격거리 확보의 문제를 해소하여야 한다.

④ 교류수전 전력을 이용한 유도급전 방식은 AC-DC 전력변환 설비 및 각 급전개소마다 고주파 전력변환설비를 구비하여야 한다.

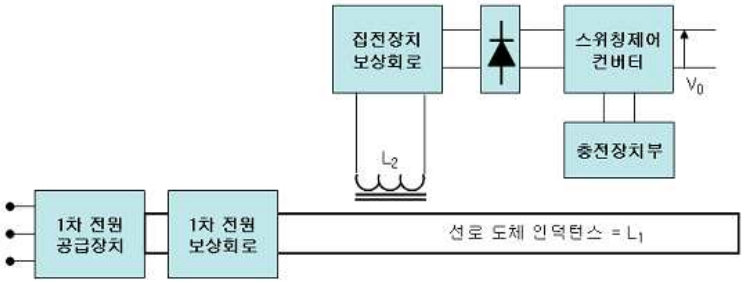
⑤ 차량에 효율적 에너지 운용을 위한 Ultra-capacitor 및 배터리가 필요하므로 차량의 무게/부피의 증가를 고려한 설계가 이루어져야 한다.

⑥ 분기구간에서의 연장급전 및 역사와 운행 중 지속적인 연장급전이 이루어져 차량의 운행이 자유로워야 한다.

(나) 이를 위한 교류급전방식은 그림 3.4.11의 개략도와 같으며, 한국전력으로부터 교류 3상 22.9kV을 공급받아 변전소에서 3상 380V로 변환하며, 이를 수전하여 전력변환 과정을 통한 유도급전의 수행은 그림 3.4.12의 유도급전 개략도와 같은 구성으로 이루어져야 한다.



<그림 3.4.11> 교류 급전방식을 이용한 1개 역사 유도급전의 개략도



<그림 3.4.12> 유도급전방식의 개략도

(2) 시스템 환경조건 및 구성

(가) 다음과 같은 전력 시스템 운행조건 및 환경조건을 만족하는 설계가 이뤄져야 한다.

① 가선 공칭전압 : AC 380V

② 급전방식 : 비접촉 유도급전방식

③ 최고 운행속도 : 60km/h (성능최고속도 70km/h 이상)

④ 표정속도(목표노선에서) : 40~45km/h

⑤ 만차중량 : 2.0톤 이하 (1량 기준)

⑥ 축중 : 1.0톤 이하

⑦ 기후조건

- 외기 조건 : -25°C ~ +40°C
- 습도 : 5% ~ 100%
- 최대 강우 강도 : 120mm/h(414mm/day)
- 최대 강설 정도 : 12.5cm/h(296cm/day)
- 풍속(지상 20m기준) : 연속 50m/s, 돌풍 55m/s

⑧ 지상고(도로와 차량 하부 픽업모듈간의 간격) : 10cm 이하

⑨ 집전 출력 용량 : 20kW

⑩ 급집전 효율 : 80% 이상

⑪ 기타

- 먼지, 쓰레기, 식물 부스러기 및 터널먼지(최대 70%의 금속성 먼지) 속에서도 정상적으로 운행 가능하여야 한다.
- 먼지, 비 등과 염분(해안도시의 경우)에 대한 대비책이 강구되어야 한다.
- 차량의 화재는 감지되어야 하며 적절한 곳에 경고장치가 설치되어야 한다.
- 도시경관을 침해하지 않으며 비상사태로 인한 승객 대피시에 감전위험에의 노출이 최소화이어야 한다.

(나) 전력 시스템 구성

① 급전 시스템 구성은 다음과 같다.

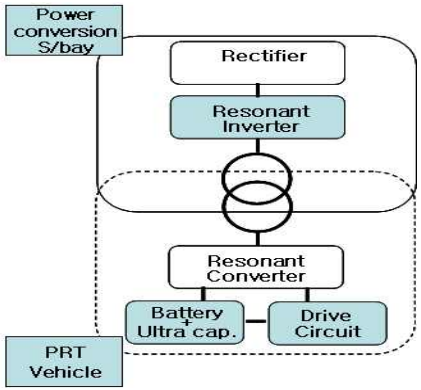
- 정류기 : AC 380V 입력
- 고주파 인버터 : 차량부 집전자의 Charging bay 위치를 감지한 후, 유도급전의 고주파 전력을 제공하는 역할.

· Charging bay : 차량이 운행하는데 물리적 접촉이 있어서는 안되며, 감전의 위험을 방지하기 위하여 절연물질로 커버되어야 한다.

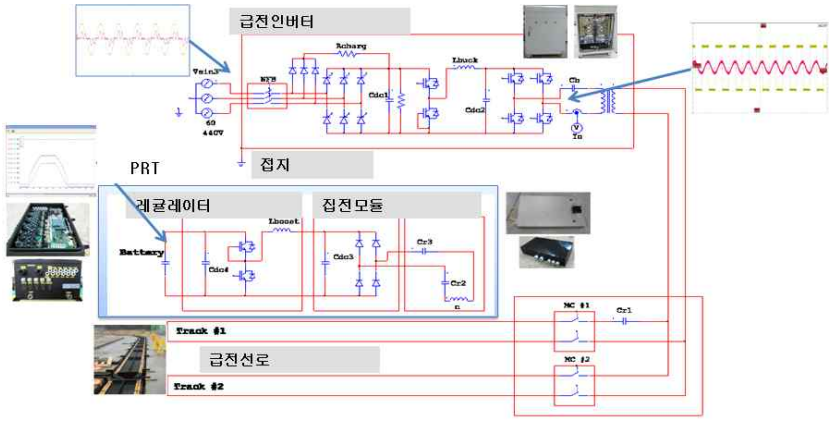
② 차량부 전력 시스템 구성은 다음과 같다.

· 공진형 컨버터 : 급전부 고주파 인버터에서 발생되는 주파수와 동일하게 유도전력을 집전해야 한다.

· 배터리 시스템 : 에너지 저장용 배터리 및 Ultra-capacitor/EMS를 포함한다.



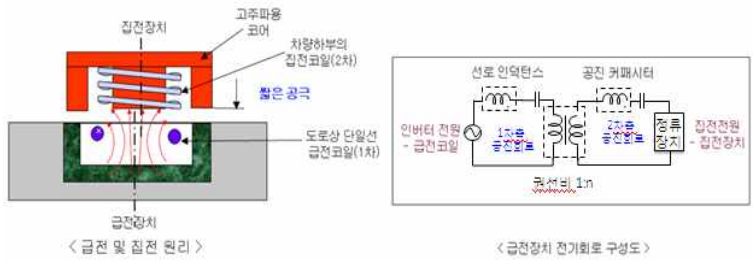
<그림 3.4.13> 유도급전 역사 급전회로 구성 및 배터리 차량의 시스템 개념도



<그림 3.4.14> 비접촉 유도급전 방식을 이용한 PRT 시스템에의 적용 사례

비접촉 유도급전 방식을 PRT 시스템에 적용할 경우, 위의 그림과 같은 구성이 가능하다. 그림에서 급전 인버터는 3상 380V 전원을 고주파 출력 전류로 변환하는 장치로서, 이 고주파 전류가 급전선로 내의 전력선 케이블 및 급전 코어를 통해 고주파 교류 유도자계를 발생시킨다. 발생된 유도자계는 PRT 차량 하부에 장착된 집전모듈을 통해 직류 전압으로, 이는 다시 차량 내부의 레귤레이터를 통해 배터리 충전을 위한 전압으로 변환된다.

하기 좌측 그림은 급전 및 집전 원리를 보여주며, 도로 하부에 매설된 급전선로 내의 급전 케이블에 고주파 전류가 도통하였을 경우 고주파 자계가 발생하며, 이러한 자계는 급전 코어 path를 통해 차량 하부의 집전 모듈의 집전 코어와 집전 케이블을 통하여 고주파 전압으로 변환된다. 이 경우에 도로 표면과 집전모듈간의 간격을 지상고라고 한다. 또한, 하기 우측 그림은 관련 전기회로이며, 급전 1차측의 경우 급전 케이블의 선로 인덕턴스와의 공진을 위해 직렬로 커패시턴스를 연결하며, 또한 집전 2차측의 경우에도 공진을 위해 집전 케이블과 직렬로 커패시턴스를 연결한다. 이로부터, 제시된 10cm의 지상고에서 80% 이상의 급집전 효율을 출력하는 것이 가능하다. 이 경우에 급집전 효율은 레귤레이터 출력 집전 용량을 급전 인버터의 3상 교류 입력 용량으로 나눈 값이며, 급전 인버터의 입력 전력은 Power Analyzer를 이용하여 측정한다.



<그림 3.4.15> 급집전 시스템 원리 및 회로 구성도

(3) 급전부 고주파 인버터

① 고주파 인버터는 자립형 외함으로 한다.

② 각 Charging bay module 마다 설비되며, 외함의 전, 후면에는 문을 설치하여 유지보수가 용이하도록 한다.

③ 인버터의 입출력 터미널이 케이블 결선을 위해 제공되며, 이러한 케이블은 하부로 인출된다.

④ 전면에는 조작 및 감시를 할 수 있도록 계기, 표시장치, 경보 장치 등이 취부된다.

⑤ 고주파 인버터는 도로환경 및 전자기 환경에 적합하여야 하며, 세그먼테이션 절체를 위한 고주파 전류용 전자식 스위칭 기술이 적용된다.

(4) 급전선로

① 급전선로는 급전 코어 및 급전 케이블로 구성되어 도로에 매설된다.

② PRT 차량 하부와 도로 표면과의 간격인 지상고가 10cm 이상이 유지되도록 유도자계를 발생시키며, 이를 위해 급전 코어의 형상 설계가 중요하다.

(5) 집전모듈

① 집전모듈은 집전 코어 및 집전 케이블로 구성되며, 차량 하부에 장착된다.

② 도로와 차량 하부 사이의 PRT 차량 하부에 장착되므로, 경량화된 슬림 형태의 방수 등의 도로 환경에 적합한 구조를 가진다.

(6) 레귤레이터

① 레귤레이터는 집전된 직류 전압을 배터리에 적합한 전압으로 승압 혹은 강압하는 역할을 한다.

② 차량 내에 장착되므로 배터리와 차량 간의 인터페이스 기능을 가지며, 진동 등의 차량 환경에 적합한 구조를 가진다.

(7) Charging bay

① Charging bay의 외함은 감전 등 전기적 사고를 방지할 수 있는 구조이며, 통풍이 용이하고, 변압기 본체와 분리 운반이 가능한 구조로 제작한다.

② 외함은 금속제 철판 및 보강 프레임을 사용하여 제작하며, 케이블 결선시 작업을 용이하게 하기 위하여 케이블 지지대가 설치되어야 한다.

(8) Battery System

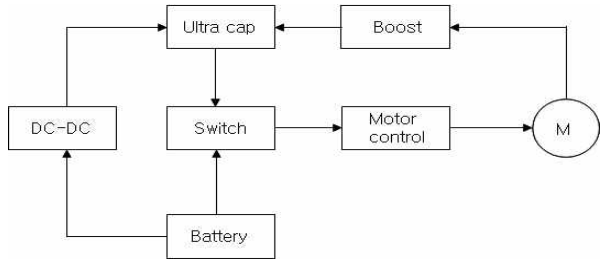
① Battery

- 차량의 무게/부피는 요구되는 배터리를 탑재할 수 있는 충분한 공간이 제공되어야 한다.
- 에너지 저장을 위한 Battery의 부피 및 무게를 줄이기 위하여 EMS가 적용된 Ultra-capacitor와의 병렬 사용을 가정한다.

- 넓은 온도 사용범위(-25℃~55℃)를 보장해야 하며, 수명은 최소 1500cycle 이상이 되어야 한다.
- 30℃이상의 환경에서 폭발의 위험이 없어야 한다.

② Ultra-capacitor

- 차량의 무게/부피는 요구되는 Ultra-capacitor를 탑재할 수 있는 충분한 공간이 제공되어야 한다.
- Ultra-capacitor는 Battery의 최대 에너지 출력 시(가속 시)의 에너지 부담을 줄이며 또한 Battery의 부피 및 무게를 줄이기 위하여 EMS와 함께 사용됨을 원칙으로 한다.
- 넓은 온도 사용범위(-25℃~55℃)를 보장해야 한다.
- 전류의 양에 따라 스위치로 전류원 소스를 선택하여 상대적으로 큰 전력을 소요하는 경우에는 Ultra-capacitor에서 에너지 공급하여야 한다.



<그림 3.4.16> Ultra-capacitor를 이용한 전류공급 시스템

③ EMS(Energy Management System)

- Battery 및 Ultra-capacitor의 에너지 저장상태를 모니터링 하는 기능을 갖는다.
- 하이브리드 전력변환장치와 연계하여 차량부하상태에 따른 전력제어의 기능을 수행해야 한다.
- 비상시 차량에 의한 감전을 방지할 수 있는 에너지 차단 시퀀스 제어 기능을 포함하여야 한다.
- 에너지 저장장치의 온도 및 전류를 검지하여 시스템 보호를 위한 Cooling 역할을 수행하여야 한다.
- 외부 전자파에 대비하여 보완 설계되어야 한다.

(6) EMI / EMC / Safety

- 시스템 하부장치 제어기와 차량 조작부는 정상 운전시 EMI로 인하여 시스템의 정상동작은 물론, 장비의 신뢰성이 저하되지 않도록 적절한 모든 측정을 시행하는 것을 원칙으로 한다.
- 차량 조작부 및 시스템 하부 제어기는 각 시스템, 열차, 전력시스템, 신호 시스템, 통신 시스템이 적정 전자파 방출량에 대해 안전하도록 모든 적정 측정을 시행해야 한다.
- 고장위험을 측정하는 과정에 있는 하부시스템 제어기와 차량 조작부는 각기 장치로부터 열차의 전자파 방출에 관련된 정보를 요구해야 한다.
- 하부시스템 제어기와 차량 조작부는 각 장치에 전원이 투입된 경우, 발생하는 전압, 전류, 자계, 전계 등 관련 파라미터의 측정결과 혹은 예측결과를 얻어내는데 공조가 가능하여야 한다.
- 궤도 내에서의 방사 노이즈의 계 강도는 시스템 하부 제어기와 열차 조작부의 정상 운전에 방해가 되지 않는 범위의 값이 되는 것을 원칙으로 한다.
- 사양서에 기재된 모든 기기 및 부품은 가능하면 많은 것이 서로 호완성이 있도록 설계 제작되어야 하며 표준품이 바람직하다. 모든 부품은 유지 보수에 불편이 없도록 시스템 및 설비의 내구연한 동안 생산·공급이 가능하여야 한다.
- 급전시스템에 화재 발생시에는 초기에 이를 감지하여 경보장치가 작동되도록 한다.
- 전력시스템에 적용되는 모든 기기는 한국산업규격(KS)에 준하여 제자작하여 사용하여야 한다.
- 전력설비가 고장이 발생한 경우 고장이 발생한 설비를 전기적으로 분리시켜 교체 가능하도록 하여야 한다.
- 전력 시스템의 각종 제어장치는 검증된 전자기술을 적용하여 소형, 경량, 무접점화하며, 신뢰성을 향상시키고 유지보수가 용이하도록 가능한 한 관련 부품별로 모듈화 하여야 한다.
- 전력시스템에 적용되는 컴퓨터 설비는 하드웨어와 소프트웨어 모두 장래 확장성이 충분히 고려되어야 한다.
- 컴퓨터 프로그램의 모든 출력정보의 표시 및 기록은 한글을 기본으로 하며, 데이터 형식은 출력형태의 재편집이 가능하도록 저장 및 기록되어야 한다.

(7) 차량 설계 사양

(가) 시스템 용량 산정을 위한 가정

PRT 시스템에 적용을 고려하는 배터리 차량에 대한 급전방식은 다음의 운행조건 및 차량특성을 고려한 PRT 차량시스템의 요구조건을 만족하도록 설계되어야 한다.

- 노선거리 : 21 [km]
- 역간거리 및 역 개수 : 700 [m] / 총 30개 역
- 운행거리 : 최소 700[m] ~ 최대 21[km](1 ~ 30 개 역 통과)
- 역내 대기 차량 대수 : 5대
- 탑승인원 : 6 [명]
- 운행속도 : 60 [km/h]
- 주행 환경 :
  - 주행 중 정지 기회는 목적지에서 1회만 존재
  - 주행 중 총 1회 최대가속을 위한 최대 에너지 소비기회 발생
    (출발역사에서 출발하는 시점에만 최대가속이 필요)
- 가속도 : 2.5 [m/s^2]
- 감속도 : 5 [m/s^2]
- 최대구배 : 10 [ ]
- 총 주행시간 : 2006.6 [s]
- 총 소비에너지 : 5 [kWh]
- 역행 에너지 : 4 [kWh]
- 회생 에너지 : 0.9 [kWh]
- 보조 에너지 : 0.9 [kWh]

(나) 시스템(추진 모터 & 전력변환장치) 소비 전력 용량

① 정격출력 : 30 [kW]
② 최대출력 : 54 [kW]
③ 정격속도 : 2,400 [rpm]
④ 정격토크 : 120 [Nm]
⑤ 요구되는 배터리 파워 : 60 [kW]
⑥ 요구되는 배터리 에너지 : 11.732 [kWh]

(다) 충전기회가 없는 최악의 경우, 배터리만을 사용한 구동을 고려하여 산정된 배터리 용량

① 배터리 파워 :60 [kW] (주어진 모터 최대출력에 대한 배터리 전압을 288 [V])

② 출력 전류 : 210 [A]

③ 배터리 개수 : 7 [개] (90[Ah] 용량의 배터리의 경우, C_3=30[A] 으로 선정)

④ Ultra-capacitor정전용량 : 10.435 [F] (1200[F], 2.5[V]를 115[ea] 연결)

다. BMS 기술개발동향 분석

(1) 소형 2차전지분야의 BMS 기술개발 현황

현재 널리 개발되고 있는 소형 2차전지용 BMS의 초기시장 형성과정을 보면, 2차전지용 배터리보호회로(PCM: Protection Circuit Module)가 먼저 개발되어 사용되기 시작했는데, 1991년 휴대폰에 장착되어 있던 2차전지가 폭발하여 사람의 얼굴에 화상을 입힌 후, 2차전지의 안정성 문제가 대두되면서 처음 일본 SONY사에서 배터리보호회로를 개발하여 초기에는 휴대폰용 2차전지의 보호와 안전을 위하여 사용되었다. BMS의 초기 버전이라 할 수 있는 PCM(Protection Circuit Module)은 현재 휴대폰, 노트북 PC, PDA, MP3 등 휴대용 전자기기의 고성능화 및 다기능화와 보급 확대 등에 힘입어 소형 2차전지 시장과 함께 급속한 성장을 거듭하고 있다.

국내에서는 LG화학, 삼성SDI 등이 리튬이온 2차전지산업의 대량생산에 성공하였으나, 1998년 이전까지는 PCM을 전량 수입하여 적용하다가 1998년 넥스콘테크놀러지가 PCM국산화 개발에 최초로 성공하여 양산을 시작하면서 PCM시장에 국내업체가 진출하는 계기를 마련하였다. 넥스콘테크놀러지는 휴대폰 등에 사용되는 1Cell용 BMS인 PCM의 국산화 개발을 기반으로 현재는 전세계 시장점유율 10위권 이내를 상회하고 있으며, 그 점유율은 해를 거듭 할수록 늘어나는 추세에 있다.

2000년경 노트북 PC가 범용화 되어가는 시기에 맞추어 노트북 PC에 탑재되는 BMS인 SBM(Smart Battery Module)을 넥스콘테크놀러지에서 최초로 국산화 개발을 완료하고, 양산을 시작하여 현재는 이 분야에서도 전세계 시장 점유율을 높여가고 있다.

(2) PCM의 주요 현황

현재 주로 적용되고 있는 1Cell용 PCM은 그림 3.4.17과 같은 종류가 많이 개발되어 전세계 휴대폰에 적용되고 있다.



<그림 3.4.17> 휴대폰용 PCM

다양한 모바일 기기에 적용되고 있는 Multi Cell용 PCM은 그림 3.4.18과 같은 종류가 사용되고 있다.



<그림 3.4.18> 모바일 기기용 PCM

○ PCM의 주요기능

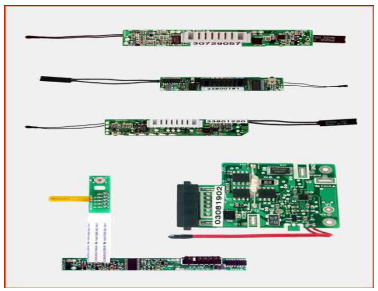
- 리튬 이온 전지는 최적의 성능을 유지하기 위하여 그 특성상 과충전 또는 과방전으로부터 보호되어야 한다.
- 과충전의 경우엔 셀의 충전전압이 4.5V를 넘을 경우 전해질이 분해되어 가스가 발생하게 되거나, 안전밸브에 압력을 가함으로써, 셀 내부의 압력을 높이는 원인이 되며, 이로서 셀 내부에서 전해질이 누출되어 폭발의 위험성을 유발하는 원인이 된다.
- 반면 배터리를 과방전 시킬 경우 방전전압이 2V이하가 되면 음극이 파손되어 배터리의 성능을 크게 저하시킨다.
- 리튬 이온 2차전지의 위험성을 예방하기 위하여 결과적으로 다음과 같은 기능을

가진 보호회로(PCM)가 필요하다.

- 과충전 방지 : 단셀의 전압이 4.35V±0.05V(약 25℃)이상이 될 경우 과충전 방지
- 과충전 방지 후 리셋 : 단셀의 전압이 4.0V±0.15V 이하일 경우 과충전 방지회로 작동
- 과방전 방지 : 단셀의 전압이 2.3V±0.15V 이하일 경우 과방전 보호 회로 작동
- 과방전 방지 후 리셋 : 단셀의 전압이 2.3V±0.15V 이상일 경우 과방전 보호회로 작동
- 과방전 전류 방지 : 3C 또는 그 이상의 전류에서 과방전 방지
- 과방전 전류 방지 리셋 : 부하 단락이 되면서 자동으로 과방전 방지 회로가 작동

(3) 노트북 PC용 BMS의 주요 현황

노트북 PC용 BMS는 그 기능의 특성상 SBM(SBM: Smart Battery Module)이라고 부르며, 휴대폰에 이어 두 번째로 많이 사용되는 배터리 제어장치라고 볼 수 있으며 그림 3.4.19와 같은 종류가 사용되고 있다.



<그림 3.4.19> 노트북용 SBM

○ 노트북 PC용 BMS의 주요기능

- 과충전보호
- 과방전보호
- 과전류보호
- 출력단자 단락보호
- 배터리 잔량알림(사용시간 예측)
- 충전완료시간 알림(충전시간 예측)

노트북 PC용 BMS는 Power Management 역할을 수행하기 위해 다음과 같은 측정 기능을 가진다.

- Cell의 전압 측정
- 충전 및 방전되는 전류량
- Pack의 내부온도

노트북 PC용 배터리는 그 사용에너지의 용량에 적합하도록 6~12개의 Cell을 사용하므로 각 Cell의 충전된 전류량을 측정하여 제어를 통해 동일한 출력을 유지시켜 주는 Cell Balancing 기능을 탑재한다. 리튬이온 전지는 이온상태의 액체 전해질을 사용하는 한 폭발의 위험을 안고 있는 등 안전성이 떨어지는 것이 큰 단점으로 지적되고 있어 이를 보완하고 에너지 밀도를 더욱 높이기 위한 업체들의 연구개발이 끊임없이 이어지고 있다.

(4) BMS의 주요 현황

BMS는 주로 중대형 2차전지를 사용하는 친환경 자동차 분야에 적용하기 위해서 기술개발이 진행 중에 있다. 국내 완성차 업체는 과거 하이브리드 자동차보다 전기자동차를 먼저 개발 해 오다가, 2000년 이후 본격적으로 하이브리드 자동차와 연료전지 자동차를 개발하기 시작하였다. BMS의 경우 골프카트 전기자동차용으로 주로 쓰였던 납산 전지용 BMS가 2000년 초반에 국산화 개발되어 양산되었으며, 그 이후 Ni-MH 전지를 제어하는 BMS를 그림 3.4.20과 같은 시제품 수준으로 개발되었으며, 현재는 리튬전지를 제어하는 BMS의 기술개발이 본격적으로 추진되고 있다.

지금까지의 하이브리드 자동차용 배터리로는 주로 Ni-MH 전지가 사용되고 있으나, 향후에는 에너지의 출력과 밀도 그리고 수명 등에서 장점을 보이고 있는 리튬계열(Li-ion, Li-PB, Li-FePO4)의 배터리 중 리튬폴리머(Li-PB) 전지로 대체될 가능성이 높으며 국내외의 배터리 메이커 들은 이를 위해 많은 투자를 기반으로 연구개발이 추진되고 있다.

하이브리드 자동차 선두기업인 도요타는 2010년경 출시될 프리우스 신형 차종에 리튬전지를 사용할 준비를 하고 있으며, 국내의 전지 메이커 역시 리튬폴리머(Li-PB) 전지의 개발을 추진 국산 하이브리드 차종에 적용하기 위한 준비를 착실히 진행하고 있다.

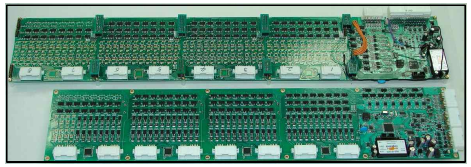


<그림 3.4.20> Ni-MH용 BMS

순수 국산 하이브리드 자동차에 적용 할 목적으로 개발되고 있는 리튬폴리머(Li-PB) 전지용 BMS의 기술개발이 넥스콘테크놀러지에 의해 그림 3.4.21과 그림 3.4.22와 같은 시제품을 완성하는 단계로 추진되고 있으며, 이는 리튬폴리머 전지의 장점을 최대한 발휘하기 위한 전용 BMS이다.

BMS의 기술개발을 위하여 국내에서는 완성차 업체와 배터리 업체 그리고 BMS 전문업체가 컨소시엄 형태로 공동개발이 추진되고 있어, 그 결과에 따라 향후 친환경 자동차 국산화 전략에 이바지할 것으로 기대된다.

하이브리드 자동차용 배터리를 제어하는 BMS는 배터리의 종류와 특성, 용량, 적용 대상 차종에 따라 맞춤형 기술개발이 이루어져야 성능 및 효율을 확보할 수 있다.



<그림 3.4.21> LI-PB용 BMS(일체형)



<그림 3.4.22> Li-PB용 BMS(분리형)

(5) Battery Pack의 기술개발 현황

다양한 종류의 Vehicle 특성에 맞게 배터리팩이 개발되어야 하며 이는 2차전지의 종류에 따라 최적화된 BMS를 필요로 하다. 중대형 전지용 배터리팩을 다음 그림과 같이 시험용으로 개발하여 다양한 BMS 시험과 기본적인 Battery System 기술개발을 추진하고 있으며, 이를 위한 대형 충방전 시험기를 갖추었다.



<그림 3.4.23> 중대형 전지용 배터리팩(시험용)



<그림 3.4.24> 일본 가와사키 중공업 저상트램 SWIMO-X에 적용된 2차전지 (Ni-MH)

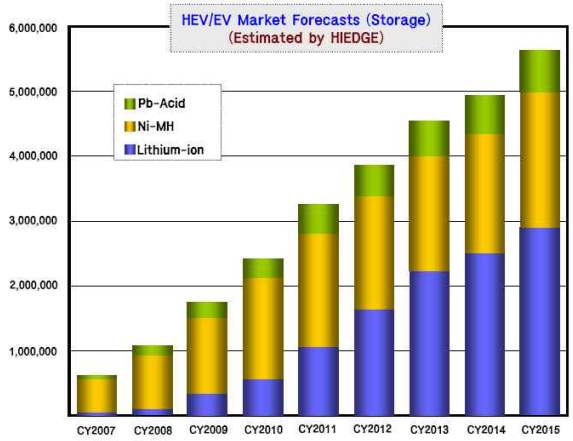
(6) BMS 기술의 범위 및 내용

○ BMS는 다음과 같은 기술로 이루어진다.

- 에너지 저장장치의 충전상태 확인을 위한 알고리즘 개발
- 안전 운전조건 확보 시스템 개발
- 고정밀도의 전압, 전류, 온도 모니터링 및 Cell Balancing 회로 개발
- Cooling Fan 제어 회로 개발
- Relay, Pre-charger 제어 회로 개발
- 자동차와의 통신 및 시스템 통제 기술 개발
- 낮은 전력소모, 고집적화를 위한 회로 설계
- 대기전류 소모 최소화 기술 개발
- EMI/EMC 대응 기술 개발
- 배터리 성능 모델 개발
- SOC, SOH 예측 기술과 SOC Target 제어 기술 개발
- BMS 검사 및 Simulation 평가 장비 개발
- 에너지 저장시스템 평가 장비 개발
- 차량 전장 Part, 기계 Part, 차량 통신 Matching 기술 개발
- 입출력 전류량 제어 기술 개발
- 실차 성능 및 내구 성능 평가 기술 개발
- 연비 측정모드 및 운행조건 평가 기술 개발

(7) BMS의 발전 방향

BMS는 2차전지 산업의 발전방향과 동일한 트랜드를 가지고 있으며, 2차전지가 그림 3.4.25와 같이 소형전지에서 점차 중대형 전지 분야로 확대되는 경향을 보이고 있어서 BMS 역시 중대형 전지를 제어하는 영역으로 시장이 변화하고 있다.



<그림 3.4.25> 자동차용 2차전지 시장 전망

2차전지 시장은 1995년경부터 휴대폰과 노트북 PC용으로 그 수요가 성숙되기 시작하였고, 2005년 이후부터는 하이브리드 전기자동차와 순수 전기자동차 분야로 발전하는 형태를 보이고 있어, BMS의 발전 방향도 이러한 추세에 맞추어 점차 중대형 배터리를 제어하는 복잡하고 어려운 기술단계로 접어들고 있는 상황이다.

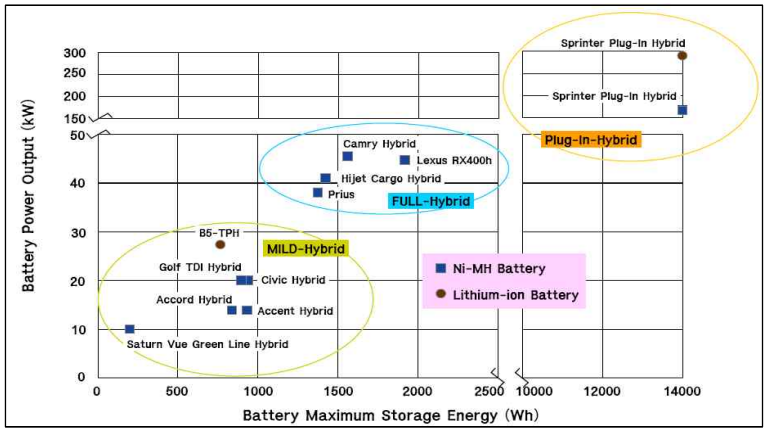
최근에 개발되고 있는 리튬폴리머 전지는 용도에 따라 다양한 크기와 모양으로 제조할 수 있어서 휴대폰을 위시한 각종 전자기기가 점차 경박 단순화 됨에 따라, 얇고 가벼운 전지에 대한 요구가 증가하면서 리튬폴리머 전지의 수요가 증가하고 있으며, 안전성 측면에서 리튬이온 전지에 비해 우수하다는 측면에서 향후 하이브리드 자동차용 전지로 기대된다.

중대형 전지용 BMS는 하이브리드 자동차, 연료전지 자동차, 전기자동차로 이어지는 자동차의 개발 동향에 맞추어 연속적으로 반드시 필요한 배터리 제어장치로서 발전 전망은 매우 낙관적으로 예측되고 있다.

(8) 친환경 자동차용 BMS의 발전 방향

우리나라 친환경자동차의 발전전략을 보면, 그림 3.4.26과 같이 하이브리드 자동차와 연료전지 자동차의 기술개발이 추진되고 있어서 이에 적합한 BMS의 기술개발이 병행되고 있다. 국내의 LG화학 등의 업체에서는 이미 하이브리드 자동차용 중대형 전지의 대안으로 리튬폴리머 전지를 채택하여 개발이 진행 중이며 상품화 단계에 도달하고 있는 상황이다.

중대형 전지를 개발 생산하는 2차전지 업체의 추의에 맞추어 넥스콘테크놀러지에서 이에 적합한 BMS의 기술개발이 진행하고 있으며, 향후 양산에 대비하여 상품화 수준의 제조기술개발에 본격 착수하고 있다.



<그림 3.4.26> EV/HEV에 장착된 전지의 출력/에너지 성능 비교

라. PRT 급전방식 비교분석

일반적으로 전기철도 시스템의 급전시스템 설계는 열차 시스템의 여객수송능력, 운행시격, 궤도상 운행차량 대수에 따른 부하량에 따라 결정지어지는 량이나, PRT시스템의 경우 차량의 규모조차 국내에서 새로이 설계되어야 하는 상황이므로 세계 PRT 시스템을 근거하여 제 3궤조 방식과 배터리 차량의 두 가지 경우를 가정하고 급전 방식을 비교 한다.

경산선에 투입된 경량전철시스템(K-AGT)과 같이 제 3궤조를 적용할 경우에는 통신선에 대한 유도장애가 적으므로 역구간이 짧고 밀집된 대도시 단거리 수송노선에 적합하며, 또한 고정 변전설비를 할 경우 차량을 경량으로 구성할 수 있는 직류급전방식이 적합하다. 기존 교류급전방식은 장거리 선로에서 송전효율을 높일 수 있으므로 고속전철이나 역구간이 긴 노선에만 적합하였으나 배터리 차량을 대상으로 하는 유도급전 방식에 적용할 경우에는 급전(혹은 충전)선이 궤도와 함께 연장설치 되는 것이 아니므로 두 가지 급전방식의 비교·분석이 기존 분석방식과는 차별화되어야 한다.

(1) 수전방식에 따른 제3궤조/ 유도급전 방식 비교

표 3.4.12에는 유도방식, 직류급전방식의 각 비교특성을 나타내었다. 두 가지 급전/집전 방식은 크게는 교류급전인지, 직류급전인지로 분류할 수 있다. 그러나 유도급전방식(유도충전)의 경우, 기존의 교류 급전방식과는 차이점이 존재한다. 공급전원이 22.9kV에서 시작된다는 것은 기존의 경우와 동일하지만 가이드레일을 따라 급전선이 설치되지 않아 유도장애의 우려가 적다. 그러나 급전/충전 요구 위치마다 정류기를 비롯한 고주파 인버터가 요구되어 일반적으로 알려져 있는 직류급전에 비해 교류 급전 방식의 장점인 지상변전 설비가 간단한 장점이 부각되지는 않는다.

<표 3.4.12> 교류방식(유도급전)과 직류방식(제3궤조)의 비교

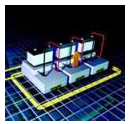
구 분	교 류 방 식(유도급전)	직 류 방 식(제3궤조)
수전전압	22.9KV	22.9KV
사용전압	AC 3상 380V	DC 600V 1500V
AC to DC 변전설비개소	없음	많음.
역사내 고주파 전력변환장치	필요	불필요
급전방식	충전 Bay 분리 : 급속충전	운행 궤도 따라 제3궤조 설치
급전설비	소형·경량→축소	중량
기타환경	- 정류기 및 고주파 인버터 필요 - 차량 배터리 교체보수비용 발생 - 급커브시 설치제약 없음	- 누설전류에 의한 전식 발생, - 전차선 유지보수비용 발생 - 급커브시 설치제약 존재
운전 전류	적다	많다
집전특성	- 소전류용 집전장치 사용가능 - 급전선 사고 대처에 대한 운행 신뢰성 양호	- 대전류용 집전장치를 사용 - 급전선 사고 대처에 대한 운행 신뢰성 불량
전압불평형	발생	없음
급전설비 보호장치	- 간단 - 단선 단락의 위험 제거됨. - 급전장비 : 충전 Bay로부터의 감전 방지용 보호커버 설치 불필요. - 충전 위치의 제어장치 자체로 전기사고 위험 차단	- 복잡 - 급전계통에 대한 보호계전 시스템 구비 - 급전레일로부터의 감전방지용 보호커버 설치필요.
전압강하	없음(비접촉)	크다(도전율, 접촉식)
환경친화도	- 미관에 환경친화적 (접촉사고 위험 없음)	- 미관에 환경친화적 (접촉사고 위험 존재)

(2) 접촉상태 및 유지보수에 따른 제3궤조/ 유도급전 방식 비교

유지보수 및 차량과 급전선의 물리적 접촉 여부에 따른 비교를 표 3.4.13에 나타내었다. 물리적 접촉이 없는 유도급전이 급전/집전장치의 유지보수 측면에는 유리하나, 차량증량증가 및 배터리 교체 등으로 인한 차량유지 비용과 초기 기술투자비용과 개발의 위험부담이 있다는 점을 가지고 있다.

반면, 제 3궤조 방식은 유도급전에 비해 먼저 기술력이 보유되어 있으며 상용화에 걸리는 시간 및 수고를 줄일 수 있는 장점을 갖는다. 그러나 PRT 시스템의 운행환경에 있어서 시스템 특성상 곡선반경이 짧고 다수의 분기/병합의 발생하므로 시공시의 어려움을 극복해야 하는 문제점을 갖고 한다.

<표 3.4.13> 접촉방식에 따른 비교

구 분		접촉식(제3궤조)	비접촉식(유도급전)
유지보수 측면		· 노선 전 구간 집전장치 및 전차선 마모 발생	· 설비 구축 후 변전설비 및 차량 전력회로를 제외한 집전장치 및 전차선의 외부 노출 염려가 없으므로 유지보수가 거의 불필요
	집전장치	· 복잡 (접촉 및 집전위치 조정 장치 필요) · 검수 및 교체사항 -집전부 교정: 2년 (250,000km) -케이블:5년(500,000km) -스프링 교체:10년	· 간단 (접촉거리 및 압착력 조정 필요 없음) · 검수 및 교체사항 - 집전 철심은 외부로의 노출 없어 영구적 사용 (기구적 교체 필요 없음) - 집전 케이블은 고주파 교류전력 사용으로 인하여 20년마다 교체
	배터리 교체	무	유
미관 측면		· 집전장치가 차량의 외부로 장착되어 미려한 외관 설계가 불가  	· 차량의 미려한 외관 설계 가능  
안전성 측면		· 역사 내 접촉 위험 및 접촉 방지 시설 필요 · 비상시 승객 탈출시 위험에 노출 위험	· 접촉의 염려가 없으므로 안전함. · 비상시 승객 탈출시 위험에 노출 위험 없음.
건설 측면		· 노선 전 구간 건설비 및 역사 내 변전 설비 필요 ※경전철 고무차륜 AGT 시스템(무인운전설비)기준의 전차선(가이드웨이 포함)복선기준 건설단가 16억/km · 토목 구조물 설계시 반영하여야 하므로 인프라가 복잡함	· 역사 내 설치비용만 소요 · 차량 제작비는 상대적으로 상승(집전장치, 배터리 충전시스템설치) · 컨버터 및 배터리 충전시스템 설치로 차량 증가

마. 소결론

이상에서와 같이 제 3궤조 시스템과 유도급전 시스템은 접촉식/무접촉식 이라는 외관상 물리적 차이를 제하고도 다양한 비교사항이 존재한다.

유도급전의 경우, 충전, 급전 구간의 분할로 인한 가이드웨이 설비에 대한 시설비 절감이 가능하고, 유지보수 비용이 적다. 또한 접촉이 없어 환경 친화적이다. 그러나 배터리를 사용하여 전력변환기술을 포함하여야 하는 기술적인 복잡성을 가지고 있으며 고주파 급전설비 등이 필요해서 지상/차상설비가 복잡해지는 경향이 있다. 이에 반하여 제3궤조의 경우, 보조전원을 제외한 구동시스템에는 배터리를 사용하지 않아 차량의 무게는 감소할 수 있다. 또한 이미 기존 경량전철 시스템에서 기술력이 확보된 상태다. 그러나 제3궤조의 전 구간 설치로 인한 시설비 및 유지관리비 및 환경친화성에서 상대적으로 불리하고 소형차량의 급커브 및 분기/병합 등에 시공의 어려움과 비상 탈출 시 등 감전사고의 위험에 노출되어 있다.

PRT 시스템의 급전방식 선정은 접촉-무접촉 방식 또는 유도방식-제3궤조 방식 중 시스템 운영에 가장 타당한 방식으로 선정하여야 할 것으로 판단된다.

앞서 비교했던 내용과 같이 기존의 제3궤조 방식 및 유도급전 방식은 일장일단이 있음을 알 수 있다. 그러나 차세대 기술이라는 측면과 PRT 차량의 특성이 자동차 개념임을 감안하면 자동차의 발전경향을 고려할 필요가 있다. 따라서 이들 요소를 감안하여 역사의 정차장에서 20~30sec이내에 충전이 가능하도록 하는 급속 충전기술개발을 통한 구현과 Capacitor 및 배터리 용량을 감안하여 경량화 및 경제성을 고려한 다양한 요구사항들을 만족할 수 있는 급전방식의 제시가 필요하므로 시스템 선정에 대한 세밀한 검토가 필요하다.

3. 선로구축물

최근 국제적으로 환경 친화적이고 에너지효율이 우수한 교통수단의 개발을 위한 다국적간 경쟁이 심화되고 있는 가운데, 기존 친환경 교통수단인 철도의 약점으로 지적받아온 접근성과 이용 편의성 측면을 택시 혹은 자가용 수준으로 끌어 올릴 수 있는 승객 여정선택형 대중교통수단(PRT: Personal Rapid Transit)시스템이 미래형 대중 교통수단으로 재조명받고 있다. 이러한 PRT 시스템은 기존 도심공간의 활용을 극대화할 수 있어 교통 혼잡이 극심한 도심구간에도 적용 가능할 뿐만 아니라, 새로이 건설되는 신도시에 설계시부터 반영하여 저비용으로 건설·운영될 수 있는 시스템이다.

PRT 시스템의 구조물은 일반적으로 궤도를 포함한 선로구축물과 역사구조물로 구분된다. 선로구축물은 고가형태, 노면형태, 지하형태 구조물로 구분될 수 있으며, 도로교통 등 타교통수단과 독립적인 노선을 확보하고 일방향 혹은 양방향 네트워크 선로로 구성되어 있다. 또한, 역사구조물과는 주 선로에서 분기된 오프라인 선로로 연결되어 있고 교차로 없이 선형분기 혹은 합류가 이루어지도록 구성된다. 역사구조물은 별도의 건물 혹은 기존 건물에 연결 혹은 통합된 구조물로 설치가 가능하며, 승·하차대 구분없이 복수의 정차대를 갖는 승강장으로 구성된다.

이에, 본 절에서는 PRT 시스템의 선로구축물에 대한 기술적 요구사항을 살펴보고, PRT 시스템이 적용되는 대상지역에 따른 PRT 시스템 구조물 형태별 기술적인 검토를 수행하여, 향후 PRT 적용 대상 및 적정 구조물 형태를 선정하는데 활용하고자 한다.

가. 선로구축물 기술적 요구사항

PRT시스템의 선로구축물에서 요구되는 기술적 요구사항은 차량시스템의 목표사양에서 요구되는 항목과 차량과 선로구축물간 인터페이스 항목이다. 선로구축물 요구사항을 나타내는 이들 항목들은 일반적으로 선로선형 설계시 요구사항과 설계하중 등 선로구축물 설계시 요구사항으로 대별하여 나타낼 수 있다.

(1) 차량시스템 목표사양에 따른 요구사항

차량시스템의 목표사양에 따라 요구되는 사항으로 선로구축물 설계시 고려되어야 하는 요구사항에는 차량편성, 만차 및 공차 중량, 최대 축중, 최대 승객하중, 최고성능속도, 최고운행속도, 가감속도, 차체길이, 최대 차체폭, 차체 높이, 차량 무게중심, 차체 고유진동수, 승강장연단높이, 기울기(최급구배), 최소곡선반경, 궤간 등이 해당된다.

(2) 차량시스템과 선로구축물간 인터페이스 요구사항

차량시스템과 선로구축물간 인터페이스 사항으로 선로구축물 설계시 반영되어야 할 사항으로 열차의 축중, 횡하중, 원심력, 시·제동하중 등의 동적하중과 이로 인한 구조물과의 상호작용에 의한 구조물의 진동 등 동적 안전성 검토, 기타 내진 및 내풍과 관련된 안전성 항목이 해당된다. 고가구조물의 동적 안전성 검토에는 열차속도, 구조물의 고유진동수, 열차의 가진동수 등이 해당된다.

(3) 선로선형 설계시 요구사항

선로선형에는 좌우방향의 평면선형과 상하방향의 종단선형으로 구분이 되며, 평면선형에는 선로의 곡선반경, 캔트, 완화곡선 등이 해당되며, 종단선형에는 기울기, 종곡선 등이 해당된다.

선로의 평면선형 설계 시에는 주로 승차감 및 주행 안전성 향상을 고려한 선형의 연속성, 역세권 형성 등을 포함한 배선계획 및 타교통수단과의 연계, 표정속도 및 시격 등의 열차운전 측면, 정거장 형식 및 배치 계획, 지장물 최소화 및 사유지 등의 용지보상 최소화를 통한 공사비 최소화, 공사 및 운영시 주변상권피해 및 교통혼잡 최소화, 민원발생 등을 포함한 주변 환경요인 등을 종합적으로 고려하여야 한다.

종단선형 설계 시 또한 승차감 및 주행성 향상을 고려한 선형의 연속성, 배선계획, 평면선형과의 경합을 고려하여야 하고, 공사비 최소화를 위한 종단 계획 및 지반 및 지하수위 조건, 승객의 접근성 향상 및 민원발생 최소화, 기울기 및 종곡선과 연관하여 운전성 및 에너지 측면 등을 고려하여야 한다.

(4) 선로구축물 설계시 요구사항

(가) 설계하중

선로구축물 설계 시에는 적용되는 차량시스템의 목표사양에 따른 하중 특성을 파악하고 이에 따른 차량/구조물간 상호작용에 의한 소음·진동기준을 만족하도록 하여야 한다. 또한, 선로구축물의 시공 공법 등 시공성 및 공사비용 등 경제성 측면을 함께 고려하여야 한다.

선로구축물 설계시 고려하여야 하는 설계 하중의 종류는 다음 표와 같다.

<표 3.4.14> 선로구축물 설계 하중

구 분	설계 하중
주하중	사하중
	활하중
	충격하중
	원심력
	레일 종하중
	프리스트레스 하중
	콘크리트 크리프 및 건조수축에 따른 하중
	토압
	수압
	부력 또는 양압력
부하중	차량 횡하중
	차량 시동 및 제동하중
	풍하중
주하중에 상당하는 특수하중	설하중
	지반변동에 따른 하중
	지점이동에 따른 하중
	파압
부하중에 상당하는 특수하중	온도변화에 따른 하중
	지진하중
	가설시 하중
	충돌하중
	탈선하중
	기타하중

(나) 고가형태 선로구축물

고가형태 선로구축물의 상부 및 하부 구조물 형식은 설치 대상지역, 주변 지형 및 여건, 차량시스템과의 적합여부, 공사기간 등을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다. 그리고, 경제성을 고려하여 상기 설계하중에 따른 고가형태 선로구축물의 발생 응력에 대한 검토를 통하여 구조물의 단면이 최소화되도록 고가구조물을 설계하여야 한다. 또한, 가급적 차량시스템 결정시 차륜간 거리가 작거나 교량과의 접지면이 작은 시스템을 선정하여 교량 폭원이 최소화되도록 고려하여야 한다.

고가형태 선로구축물의 대표적인 상부구조물 형식은 강구조물과 콘크리트구조물 형식으로 구분할 수 있는데, 일반적으로 강구조물은 콘크리트구조물에 비하여 구조물 점유공간이 작아 미관이 좋고 시공기간이 짧아 교통혼잡 유발이 작은 데다가 장경간이 가능하

여 교각 수를 최소화 할 수 있고 곡선부 처리가 용이하여 복잡한 도심지 공사에 유리하다. 또한, 현장시공 및 유지관리가 용이한 장점이 있다. 이에 비해 콘크리트구조물은 소음진동측면에서 강구조물에 비해 유리하며 내화성이 좋은 장점이 있다. 하지만, 구조물 점유공간이 크고 중량이 큰 대형공사로서 현장에서 콘크리트 타설로 공사기간이 길고 현장 부근에 많은 작업장을 필요로 하며, 더불어 강구조물에 비해 상대적은 많은 교각 수를 요하고 있어 복잡한 도심지 공사에는 적합지 않다.

고가형태 선로구축물의 하부구조물 형식 역시 대표적으로 강교각과 콘크리트교각 형식으로 구분할 수 있는데, 강교각의 경우 공장제작하여 현장 조립하여 시공되므로 공사기간이 짧고 복잡한 도심지 구간에 유리하다. 반면, 소음진동면에서 유리한 콘크리트 교각의 경우 시공성이 양호하나 공사기간중 도로 점유 면적이 넓어 교통 혼잡 초래 문제가 발생할 우려가 있어 도심지 공사에는 불리하다. 그리고, 고가형태 선로구축물의 지지기둥(교각)은 도로의 평면 및 종단 선형을 고려하여 차량 운전자의 주행 안전을 위한 시거 확보가 가능하도록 설치되어야 하고 가급적 교차로를 제외하여 설치되도록 한다. 또한, 지지기둥의 높이 역시 전신주, 가로등, 가로수, 육교 등 가로변 지장물에 방해가 되지 않도록 하여야 한다. 대표적인 국외 PRT시스템 고가형태 선로구축물의 지지기둥의 높이 및 간격을 다음 표에 나타내었다.

<표 3.4.15> 국외 PRT시스템의 고가형태 선로구축물 지지기둥 간격 및 높이

(단위: m)

구 분	영국 ULTra	미국 TAXI2000	미국 PRT2000
지지기둥의 간격	18	18	36
지지기둥의 높이	5.7	4.8	5.0

이상에서와 같이, PRT시스템에서 고가구조물 형식은 강구조물이 공사주변여건, 공사기간, 곡선부 선형 처리, 경관 등 여러 면에서 콘크리트구조물에 비해 유리하다. 이에, 영국 히드로공항에 실용화한 국외의 대표적인 PRT시스템인 영국의 ULTra 시스템의 강구조 고가구조물을 조사·분석을 통하여 향후 국내 실정에 맞는 PRT 구조물 형태를 선정하는데 참조하도록 하고자 한다.

ULTra 시스템 고가구조물의 표준 지간 길이는 앞선 표에 언급한 바와 같이 18m로서, 다음 그림 3.4.20에 보는 바와 같이 교각이 18m마다 일정 간격으로 고가구조물의 상판을 받치도록 설치되어 있다. 그리고, 교각과 교각 사이에 양쪽 경계 역할을 하도록 종

방향으로 가로지르는 강재 상자형 거더가 얹어져 있다. 이 상자형 거더 사이를 단선인 경우 순폭 1,600mm, 복선인 경우 순폭 3,400mm를 갖는 강재 가로보가 일정 간격으로 설치되어 있다. 차량 주행로의 경우 주행 선로의 분기가 용이하도록 강재 가로보 위에 종방향으로 프리캐스트 콘크리트 블록판의 PRT 차량 주행로가 고무패드와 함께 설치되어 있다. ULTra시스템 고가구조물의 주요 제원으로 강재 교각 기둥의 직경은 500mm이며 두께는 10mm이고, 상자형 거더의 높이는 주행시야의 방해가 최소화되도록 단선의 경우 450mm, 복선의 경우 500mm로 되어 있으며 폭 250mm, 두께 10mm이다.

국내에 적용될 수 있는 PRT 고가 구조물은 이와 유사한 형태로 할 수 있으며, 다양한 현장 여건 및 주변 환경과 향후 확장성을 고려하여 구조물의 외관 혹은 설계 측면에서 쉽게 변경·시공이 가능하도록 좀 더 유연한 구조물이 되도록 고려할 필요가 있다. 실제, 영국 ULTra시스템에서도 고가형태, 노면형태, 정거장 내 등에 따라 구조물의 재질을 다양하게 고려하고 있다. 예를 들어, PRT 주행로를 상기와 같은 콘크리트 블록판 대신 유리섬유 재질의 망 혹은 일반 콘크리트 기초로 대체한다든지 혹은, 고가구조물에서 경계역할을 하는 강재 상자형 거더를 일반 노면 혹은 정거장내 구조물에서 콘크리트 경계석 혹은 플라스틱 재질로 대체할 수 있도록 고려하고 있다. 또한, 국내에 적용될 PRT 구조물은 어떤 형태이든지 간에, 공사기간이 최대한 단축될 수 있도록 구조물 단품별로 외부에서 사전에 제작되어 현장에서 조립되는 식으로 공법이 채택되어야 한다.



<그림 3.4.27> 영국 히드로공항 고가구조물 시공 모습
(복선, 주행로 설치전)



<그림 3.4.28> 영국 히드로공항 고가구조물 상판

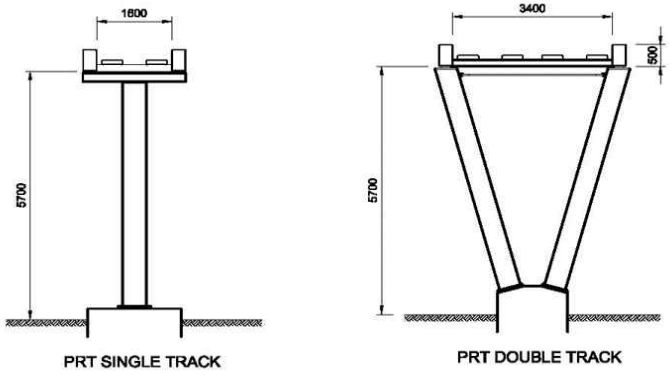


<그림 3.4.29> 유리섬유재질 망으로 구성된 주행로

한편, 고가형태 선로구축물의 지지기둥을 도로상에 설치하는 등 차량 충돌위험 지역에 설치하는 경우에는 충돌하중을 고려하여야 하는데 이럴 경우 교각의 단면이 커져 미관상 좋지 않을 뿐만 아니라 건설비용 면에서도 불리하므로, 차량 충돌을 배제할 수 있도록 별도의 충돌 방지장치를 설치하거나 충돌시에도 구조물 보호와 함께 차량 운전자의 안전을 위해 충격흡수가 가능한 보호시설물의 설치가 필요하다. 이에, 경제성을 고려하여 가급적 고가형태 선로구축물의 지지기둥을 도로상이 아닌 보도 및 가로변에 설치함을 적극 고려하도록 한다. 다만, 고가형태 선로구축물의 지지기둥을 보도 및 가로변에 설치하는

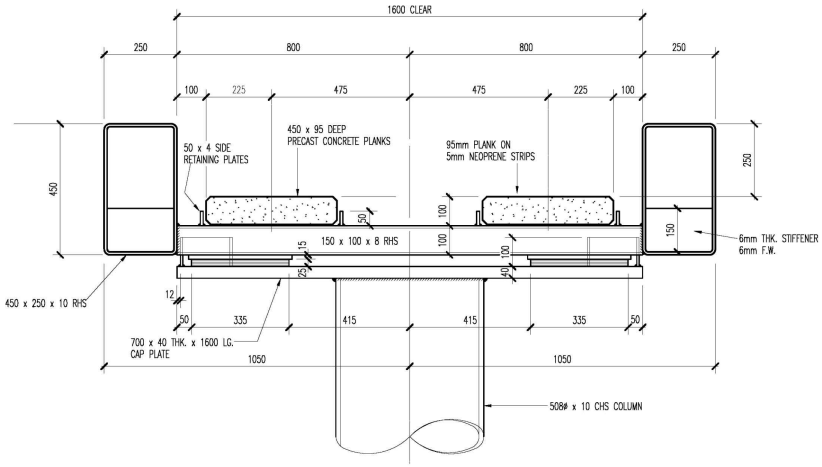
경우 유효보도폭원, 자전거도로, 인접구조물과의 간격, 지하매설물 등에 대한 종합적인 검토가 필요하다.

이상에서와 같이, 도심지에서 도시 미관을 고려하여 환경 친화적인, 공사중 교통 혼잡을 최소화할 수 있도록 소요 면적을 줄여 경제적인 경량의 고가구조물을 건설하기 위해 고강도, 고성능 재료 개발과 함께 첨단 고가구조물 시공기술 연구가 필요하다.



(a) 단선 (b) 복선

<그림 3.4.30> 영국 ULTra 시스템의 고가구조물 일반도



<그림 3.4.31> 영국 ULTra 시스템의 고가구조물 횡단면도

(다) 노면형태 선로구축물

노면형태 선로구축물은 설치 대상지역, 주변 지형 및 여건 등 부지 확보를 최우선적으로 고려하여 설치되어야 한다. 노면상에 선로구축물이 설치되므로 교차로 종·횡단이 필요한 지역과 보행자의 도로 횡단이 필요한 지역에서는 일반적으로 고가형태 혹은 지하형태 선로구축물로 대체 설치되어야 하므로 해당 지역의 입체교차도로 혹은 육교 등의 횡단시설, 지하 매설물 등의 지장물 등을 검토하는 등 노선계획에 대한 사전 검토가 필요하다.

노면형태 선로구축물의 형태는 앞서 언급된 고가형태 선로구축물에서 하부구조물 즉, 교각과 기초구조물, 상부구조물을 받치는 교좌장치를 제외한 나머지 상부구조물과 동일한 형태로 설치될 수 있다. 다만, 상부에 설치되는 대신 노면 상에 설치되므로 외관 등을 고려하여 경계역할을 하는 상자형 거더 대신 높이가 낮은 콘크리트 경계석 혹은 기타 재질의 경계구조물로 대체할 수도 있고, 경제성 등을 고려하여 노면 주행로를 일반 콘크리트 혹은 아스팔트 등의 기타 재질로 대체할 수도 있다.



<그림 3.4.32> 콘크리트 경계석 및 아스팔트 재질의
주행로를 갖는 지상 노면 주행로 (영국 히드로공항 PRT)

(라) 지하형태 선로구축물

지하형태 선로구축물은 설치 대상지역의 주변 지형 및 여건, 지하 매설물 등의 지장물 등을 고려하여 설치되어야 한다. 지하형태 선로구축물은 고가형태 혹은 노면형태 선로구

축물에 비해 상대적으로 공사기간이 길고 경제성이 떨어지므로 신중한 도입 검토가 필요하다. 일반적으로 지하형태 선로구축물은 지하횡단을 요하는 지역 및 지하철과 직접적인 연계를 요하는 지역에 설치될 수 있다.

국내에 적용될 수 있는 지하형태 PRT 선로구축물 역시 국외의 대표적인 PRT시스템인 영국의 ULTra 시스템의 연구사례 조사·분석을 통하여 향후 국내 실정에 맞는 지하 선로구축물 형태를 선정하는데 참조하도록 하고자 한다.



<그림 3.4.33> 영국 ULTra시스템의 하부구조물 개념도

영국의 ULTra 시스템에서는 현재까지 지하에 설치한 PRT 구조물을 가지고 있지 않지만, 이에 대한 연구가 지속되어 오고 있다. 특히, 고가구조물에서의 차량 승객 시야 확보를 위한 노력이 지하형태 구조물에서도 적용하고자 노력하였다. 특히, 영국 정부의 경우 일반 중량전철과 같은 어둡고 답답한 지하형태 도시철도 구조물에 자연채광, 확 트인 오픈시야 확보에 초점을 둔 도시철도 정거장 설계기준을 시행하고 있다. 이에, 영국의 ULTra 시스템에서는 승객의 쾌적성과 경제성을 함께 고려하여 개착식 형태(cut-and-cover)로 터널을 시공하는데, 마치 하수구 시공하듯이 지반을 2~3m 정도로 굴착한 후 프리캐스트 콘크리트 모듈을 현장 조립·시공하고 상부를 유리로 시공하는 방안을 연구하고 있다.

국내에 적용될 지하형태 선로구축물 역시 경제성을 고려하여 개착식 형태로 현장 여건에 따라 적당한 깊이로 지반을 굴착한 후 사전에 시공된 콘크리트 박스 모듈끼리 조립하는 방식으로 굴착된 지반 현장에서 시공한 후 지반을 덮는 시공 방식의 채택을 고려해 볼 수 있겠다. 영국 ULTra시스템에서와 같이 지반을 덮는 대신 PRT 차량의 오픈 시야 확보 및 자연 채광 등의 쾌적함 등을 고려하여 상부를 강화 유리 재질 등으로 시공하는 것도 고려해 볼 수도 있다. 대신, 상부 보행자의 개인 프라이버시 침해 등의 문제가 있을 수 있으므로 보행자가 통행할 수 없는 전용노선으로 시공하거나, 보행자가 통행하는 보도 하부에 설치할 경우 전 구간이 아닌 일부 구간을 오픈 시야가 확보되도록 하는 방법을 고려해 볼 수 있겠다. 지하형태 선로구축물은 당연히 차도 혹은 인도와 병행할 수 있어 별도의 고가 및 노면형태의 선로구축물 부지를 확보하기 어려운 곳에 설치할 수 있는데, 상부에 차도가 지나는 구간에는 차량하중을 견딜 수 있도록 하면서 저(低)심도에 고강도 콘크리트 상자터널 모듈로 현장 조립·시공하고, 상부에 인도가 지나는 구간에도 역시 상기 언급한 방식으로 심도가 깊지 않게 개방감을 고려하여 콘크리트 상자터널이 조립·시공된다면 지하형태 구조물이긴 하지만 쾌적하고 단기간에 경제적으로 시공될 수 있을 것으로 판단된다.

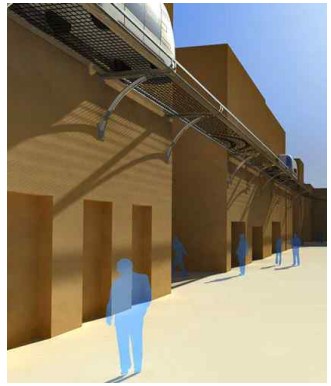
(5) 정거장(역사) 구조물 요구사항

본 절에서는 PRT 정거장 구조물의 요구사항을 정리하였고, 정거장 구조물 형태 및 정거장내 배선 형태에 대하여 살펴보았다.

첫째, PRT 정거장 구조물의 요구사항으로서, 정거장 구조물은 정거장 설치 대상지역의 주변 지형 및 여건, 이용수요를 고려하여 규모를 산정하고, PRT 차량의 사양뿐만 아니라 이용승객의 안전하고도 신속한 처리 방법, 차량기지 및 차량대기·유치 공간 확보 및 공차운영·회차 계획 등을 종합적으로 고려하여 정거장의 형태를 결정·설치되어야 한다. 그리고, 첨두시 이용수요를 감안한 역사 운영 및 시설계획 수립이 요구되며, 정거장 용량보다 많은 차량이 진입시 운영처리 방안 등의 검토와 함께 이에 따른 정거장 승·하

차대 개수, 방향 등의 정거장 규모 및 형태 설계가 필요하다. 한편, 고장차량 발생시 인접 정거장 혹은 차량 유치고 등으로의 유인 및 정비공간 확보 및 이에 따른 승객 승·하차를 위한 오프라인 이외 별도 오프라인 설치 등의 검토가 필요하다. 또한, 정거장 구조물에는 일반적으로 폭우, 폭설, 강풍, 먼지 등의 외부 환경요인으로부터 이용승객을 보호할 수 있도록 스크린도어 등의 승객안전시설이 설치되어야 하며, 이용승객의 차량 탑승시 차량과 승강대 사이 실족 및 추락사고가 발생되지 않도록 승강대가 건설되어야 하며 필요한 경우 안전시설을 설치하여야 한다. 여기에 더하여, 정거장 구조물은 장애인, 임산부, 노약자 등 교통약자를 포함한 모든 이용승객의 편의를 고려하여 설계되어야 하고 필요한 편의시설을 갖추어야 한다. 특히, 인접 건물과 연계된 정거장을 포함한 고가형태의 정거장 구조물 및 지하형태의 정거장 구조물의 경우에는 지상으로부터 이용승객의 승강을 위한 승강편의시설을 설치하여야 한다.

둘째, 정거장 구조물의 형태는 선로구축물과 마찬가지로 고가구조·노면·지하 형태의 구조물로 설치될 수 있다. 일반적으로 고가형태의 선로구축물이 노선에 인접한 주요 건물을 통과할 때 건물 내·외부에 정거장 구조물을 설치하게 되는데, 신규 건물 내부에 설치되는 정거장은 노면형태 정거장과 유사한 형태이나 기존 건물 외부에 설치되는 정거장은 고가구조 형태의 정거장 구조물이 된다. 이러한 고가구조 형태의 정거장 구조물은 기존 건물과 연계하여 건물 외부에 캔틸레버 형태 혹은 기존의 교각을 갖는 고가구조물 형태 혹은 이 두 가지가 병합된 형태로 설치되며, 상부에 시설물 및 승객을 외부환경으로부터 보호하기 위한 캐노피형태의 상부덮개구조물로 구성된다. 이에 반해, 노면형태의 정거장 구조물은 단순하게 지상 노면 상에 설치되므로, 노면형태 선로구축물에 앞서 언급한 상부덮개구조만을 갖는 구조물로 설치되거나, PRT 주행로 선형상 지상면보다 약간 높은 곳에 설치되는 경우에는 계단 등의 승강 시설물과 함께 설치된다. 한편, 지하형태의 정거장 구조물은 기존 지하철과는 달리 심도가 2~3m 정도에서 운행되는 PRT차량을 탑승하기 위한 구조물로서 지하로 내려가는 계단, 경사로 등의 승강 시설물을 지나 티켓 확인후 바로 PRT 차량에 탑승할 수 있는 승강장이 있는 구조로 외기에 노출되어 자연채광이 가능한 오픈 공간 형태로 설치되며, 심도가 깊지 않으므로 이 역시 지상 노면상의 정거장과 마찬가지로 상부덮개구조를 갖는 구조물로 설치된다.



<그림 3.4.34> 캔틸레버 형식의 고가구조물 개념도



<그림 3.4.35> 지하형태의 정거장 구조물 개념도

셋째, 종래의 대표적인 6가지 정거장 배선 형태에 대하여 나타내었고 장단점을 비교·정리하였고, 한국형 PRT 정거장에 대한 요구사항을 정리하였다.

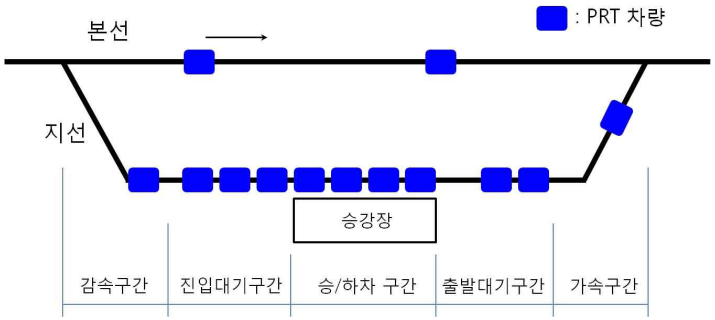
(가) Typical Unload And Load(UAL) Station

대표적인 승·하차 정거장 형태로서, 이용승객의 승차 승강장이 하차 승강장과 별도로 구분되어 있지 않으며, 승강장과 정거장으로의 진입을 위해 대기하는 차량의 대기 라인이 하나의 지선에 위치하는 형태이다.

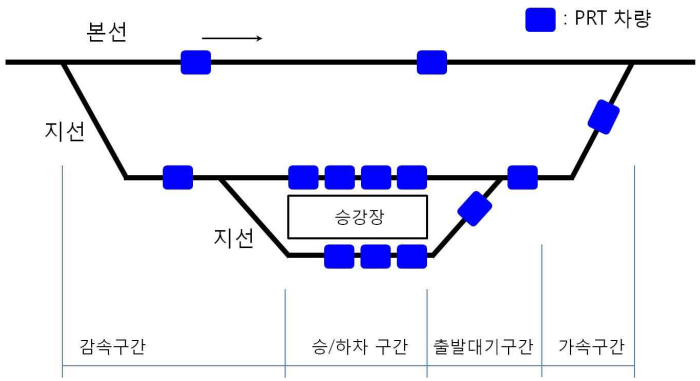
가장 일반적인 정거장 형태로 많이 사용되나, 지선에서 대기 차량이 많아질 경우 본선의 차량 흐름에 영향을 미칠 수 있으며, 고장차량 발생시 별도의 유도 및 정비 라인이 없다는 단점이 있다. 또한, 선진입 차량이 하차하는 동안 후속 진입차량이 공차일지라도 불필요하게 대기해야 하는 등 정거장 운영면에 효율이 떨어질 수 있다.

(나) Two-sided UAL Station

상기 UAL 정거장 형태를 변형한 것으로, 정거장 양쪽에 2개의 지선을 가지고 있어 승강장 양쪽을 모두 이용할 수 있는 형태이다. 이와 같이 본 정거장 형태는 단일 UAL 정거장 형태보다 2배 높은 용량을 가지고 있는 관계로 이용승객들이 보다 빨리 차량을 승·하차할 수 있어 첨두시 이용승객 수요가 일시에 집중될 수 있는 지역에 효과적이다. 또한, 2개의 지선을 가지고 있어 비상시 고장차량의 유도 및 정비가 가능하다. 다만, 2개의 지선을 건설해야 하므로 부지확보 및 건설비용 면에서 불리하며, 일반 단일 UAL 정거장 형태에 비해 차량 제어 등 정거장 시스템 운영이 복잡하며 분기 및 합류 지점에 차량간 충돌 위험이 상대적으로 높은 단점이 있다.



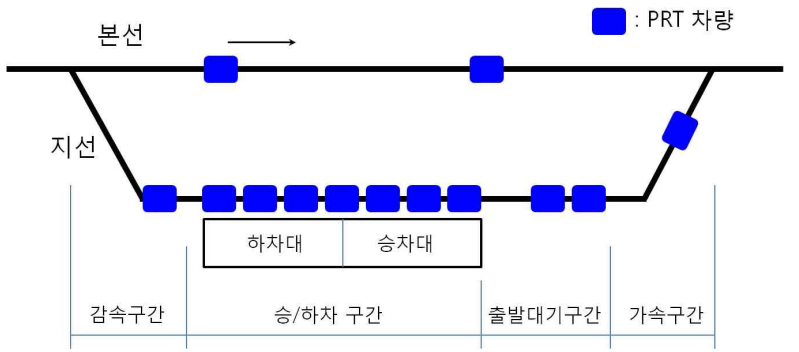
<그림 3.4.36> Typical UAL Station



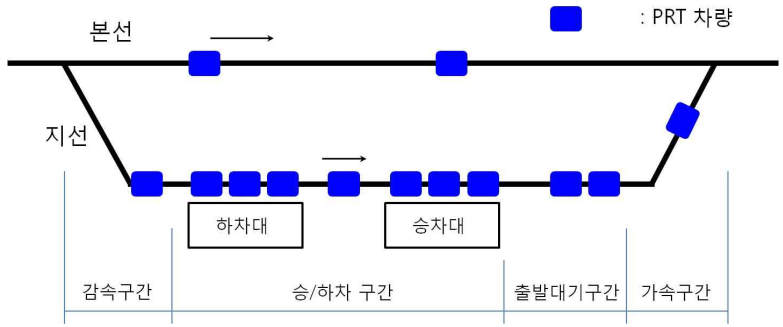
<그림 3.4.37> Two-sided UAL Station

(다) Typical Unload Move Load(UML) Station

이용승객의 승·하차를 구분하여 승강장이 구성된 정거장 형태로서, 승강장의 승강대 분리 즉, 승차대 및 하차대가 구분되어 있어 이용승객의 이용 혼선을 방지할 수 있다. 다만, 승강장의 길이가 일반 UAL 정거장보다 길어야 하므로 부지확보 및 건설비용 면에서 불리하며, 일반 UAL 정거장과 마찬가지로 단일 라인이므로 선진입 차량이 하차하는 동안 후속 진입차량이 공차일지라도 불필요하게 대기해야 하는 등 Two-sided UAL 정거장에 비해 운영면에 효율이 떨어질 수 있다.



<그림 3.4.38> Typical Unload Move Load(UML) Station

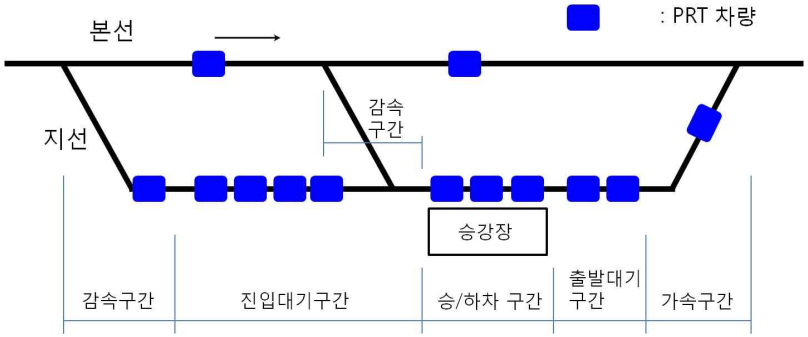


<그림 3.4.39> Two-platform UML Station

(라) Two-platform UML Station

UML 정거장 형태를 변형한 형태로 승·하차 이용승객이 각각 독립된 승강장을 이용하도록 승강장을 별도로 구분·설치된 정거장 형태로서, 승·하차 이용승객이 많을 경우

에 이용 혼선 및 승강장내 혼잡을 방지할 수 있다. 다만, 2개의 승강장이 독립되어 설치되는 관계로 티켓리더기 등 필수 코어시설이 이중 설치해야 하며, 이 정거장 형태의 경우 하차대와 승차대 승강장간 일정 거리를 두어야 하므로 과다한 지선길이가 요구되어 부지확보 및 건설비용 면에서 불리하다.



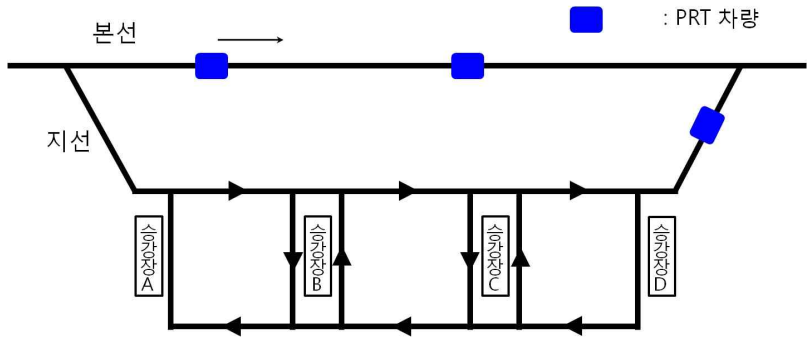
<그림 3.4.40> Two-entrance Station

(마) Two-entrance Station

일반적인 UAL 정거장 형태에 지선을 추가 설치한 형태로서, 정거장 수요가 증가할 경우 정거장의 효율적인 운영이 가능하다. 이는, UAL 정거장 형태에서의 단점 즉, 지선에서 대기 차량이 많아질 경우 본선의 차량 흐름에 영향을 미치던 것을 추가적인 지선 운영으로 해소가 가능하기 때문이며, 고장차량 발생시에도 추가 지선을 별도의 유도 및 정비 라인으로 활용할 수 있어 효율적인 운영이 가능하다. 다만, 승강장의 승차대수는 UAL 정거장 형태와 같으므로 용량면에서는 영향이 없으며 지선간의 분기 및 합류 지점에서의 차량 충돌 위험이 상대적으로 더 큰 단점이 있다.

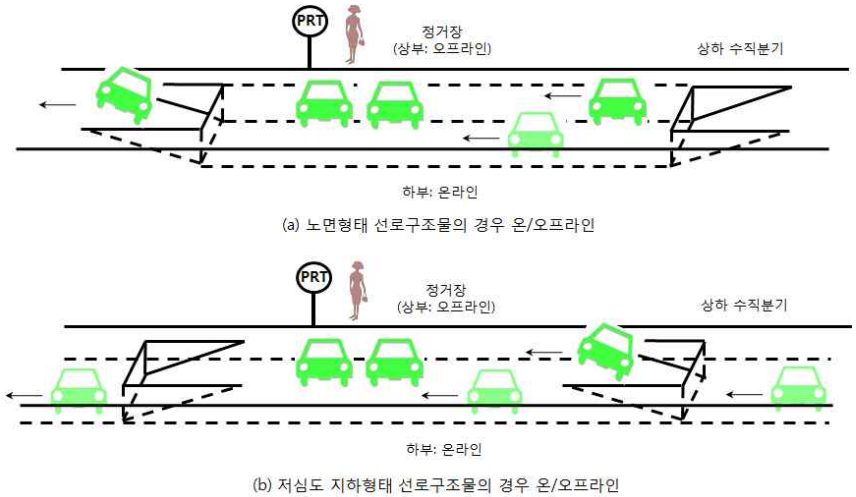
(바) Chain-Link, Dual-Direction Station

Chain-Link, Dual-Direction 정거장은 여러 개의 독립적인 승·하차대가 체인방식으로 연결된 형태로서, 승·하차대가 여러 개로 공간상 독립적으로 분리, 독립적인 역할을 수행할 수 있어 효율적인 역제어가 가능할 뿐만 아니라, 가운데 두 개의 승·하차대는 양방향 차량을 모두 이용할 수 있다. 다만, Two-platform 정거장 형태와 같이 승·하차대별 독립적인 필수 코어시설이 설치되어야 하므로 부지확보 및 건설비용 면에서 불리하다. 또한, 정거장내 네트워크 운영이 복잡한 단점이 있다.



<그림 3.4.41> Chain-Link, Dual-Direction Station

이상의 종래 정거장 배선은 본선과 분리되어 별도의 지선 형태로 건설되는 관계로 상대적으로 넓은 소요부지 확보를 요하게 되어 경제적으로 불리하며 공사중 상당한 교통혼잡을 유발시킬 것으로 판단된다. 이에, 한국형 PRT 정거장은 이러한 문제를 해소 또는 최소화할 수 있도록 그림 3.4.42에서와 같이 단일 노선상에 상하 입체 형태 즉, 본선(on-line) 및 지선(off-line)이 단일 노선 상의 상·하부에 존재하고 지선 상에 정거장을 건설하여 경제적인 건설이 가능한 방안을 고려해야 한다. 이를 위해서는 상하방향의 수직분기가 가능하도록 하는 차상 혹은 지상분기장치의 개발이 필요하다.

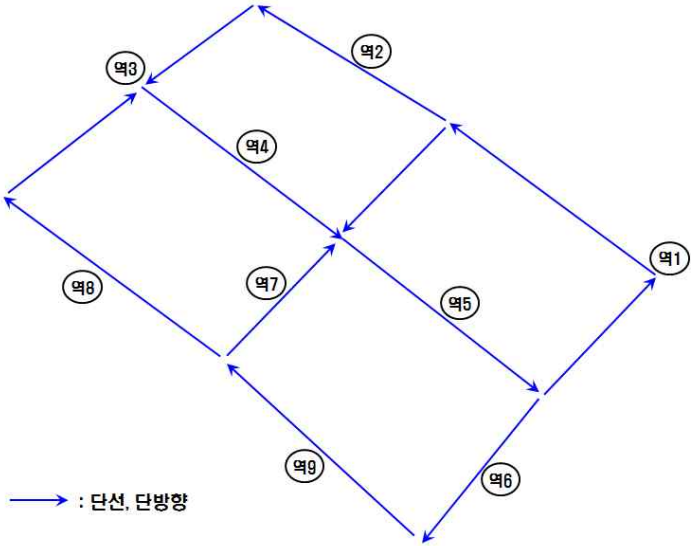


<그림 3.4.42> 단일 노선상 상하 입체 형태의 본선(on-line) 및 지선(off-line)

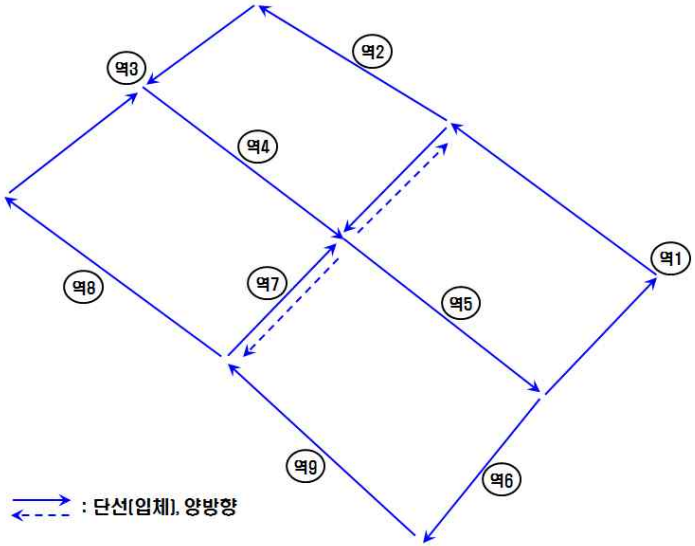
(6) 효율적인 네트워크 운행을 위한 양방향 주행 구조물

일반적으로 열차의 양방향 주행을 위하여 평면상에 상행선과 하행선이 복선으로 나란히 건설되는데, 도심지 내에서 종래와 같이 평면상 양방향 노선을 구축하기 위해서는 상대적으로 더 넓은 부지 확보가 필요하므로 도심지 내 공간적인 제약 문제가 발생한다. 이로 인해, 주로 도심지내에서는 그림 3.4.43과 같이 단방향으로 설계되어 운행되게 되는데 비효율적인 운행 경로가 발생할 수 도 있다. 예를 들어 출발지인 역1에서 도착지인 역7로 이동하기 위해서는 역1, 역2, 역3, 역4, 역5, 역6, 역9, 역7을 차례대로 지나쳐야 하는 등 단방향 네트워크 노선망은 경우에 따라서 운행 경로가 길어져 비효율적으로 운행되게 된다. 이를 해결하기 위해 전체 노선을 종래의 평면적으로 양방향 노선을 구축하는 경우 공간적인 제약뿐만 아니라 경제적으로 상당히 불리하다.

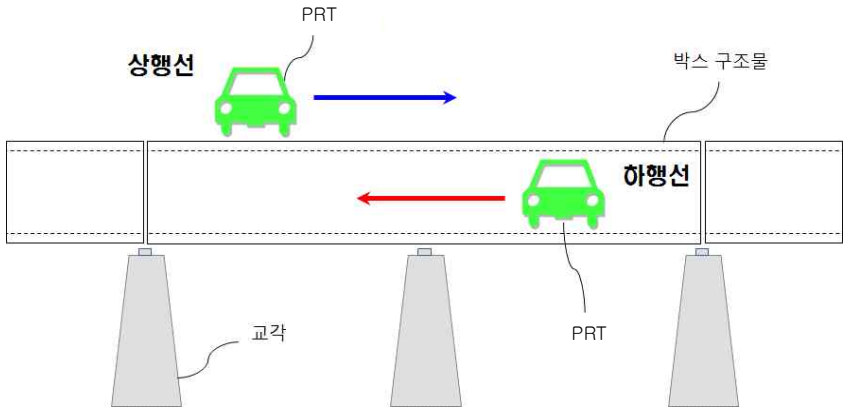
이에, 그림 3.4.44와 같이 일부 구간을 양방향 일체형 상하행 단일 노선으로 건설함으로써 평면적으로 차지하는 공간이 추가되지 않으면서 양방향 주행을 통하여 네트워크 운행 효율을 높일 수 있다. 앞선 예의 경우, 역1에서 역7로 바로 운행이 가능하게 된다. 양방향 일체형 구조물은 그림 3.4.45~47과 같이 고가형태, 저심도 형태, 복측형 저심도 형태 등 다양하게적용이 가능하다.



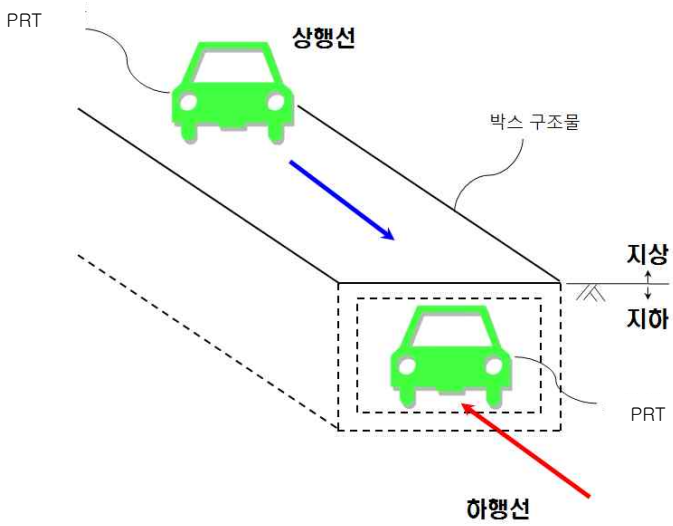
<그림 3.4.43> 단방향 운행 네트워크



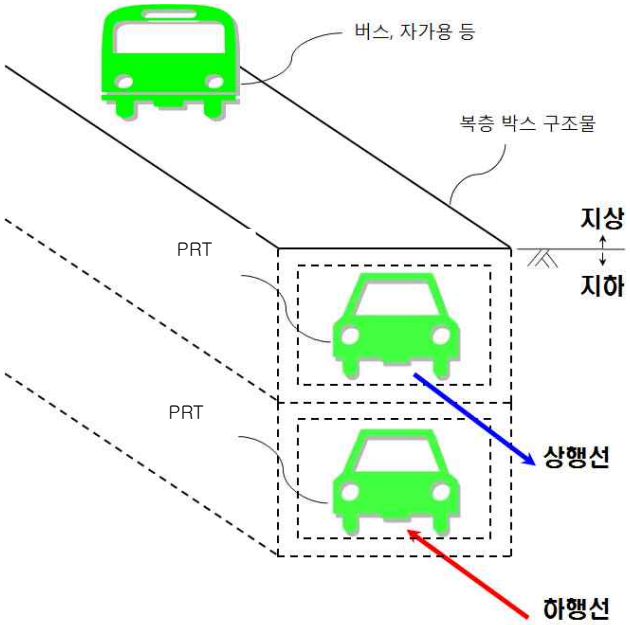
<그림 3.4.44> 부분 양방향 운행 네트워크



<그림 3.4.45> 양방향 일체형 고가형태 선로구축물



<그림 3.4.46> 노면 및 저심도 형태 양방향 일체형 선로구축물



<그림 3.4.47> 복측형 저심도 형태 양방향 일체형 선로구축물

(7) 기타 구조물 및 설비

유사시 상황별 대피 시나리오에 따른 승객 탈출 경로 및 행동요령 수립 등과 함께 이에 따른 대피로 등 대피 시설물 설계 및 설치가 필요하다. 또한, 선로구축물에는 차량을 주행하는데 필요한 급전 등 전기 및 신호 계통 관련 설비의 설치를 위한 공간 확보 역시 선로구축물 단면 설계시 고려되어야 한다.

더불어, 기존 도심내 PRT 고가구조물을 설치하기 위해 승차감 기준(0.2g: APM 표준[좌석])을 만족하는 조건에서 교차로에 간섭하지 않는 곡선반경 및 여유폭을 차량속도를 반영하여 검토하면 다음과 같다.

<표 3.4.16> PRT 차량속도에 따른 곡선반경

도로차선(왕복)	곡선반경(m)	운행속도(km/h)	여유폭(m)
2차선	6	14	1.46
4차선	18	24	1.44

나. 적용 대상지별 선로구축물 검토

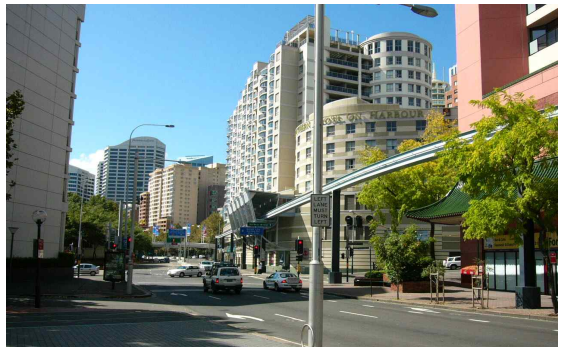
적용 대상지 선정시와 마찬가지로 적용 대상지에 적합한 선로구축물 선정시 경제성, 민원, 인근 교통수단과의 접근성, 지상 및 지하 지장물, 교통 및 환경영향평가·조사 등 다음의 사항이 고려되어야 한다. 첫째, 적용 대상지에 대한 용지매입 및 기초공사 등을 포함한 건설비, 향후 유지보수비용 등의 경제적인 측면의 검토가 우선시되어 적합한 대상 부지별 선로구축물이 선정되어야 한다. 둘째, 인근 거주지역 및 상업지역 혹은 환경단체 등에서의 민원이 최소화될 수 있도록 선로구축물이 선정, 건설되어야 한다. 셋째, 인근 버스, 지하철 등의 대중교통수단과의 연계성 및 접근성을 고려하여 이용승객이 편리하게 상호 연계하여 이용할 수 있도록 고려하여야 한다. 넷째, 지상 거치물 혹은 지중 매설물 등의 지장물 등을 조사하여 해당 구간 구조물 선정시 고려하여야 한다. 다섯째, PRT시스템 건설시 혹은 향후 운영시에 대한 교통영향평가 및 환경영향평가 등을 실시·조사하여 적합한 선로구축물을 선정하여야 한다. 다음 표에 선로구축물 형태에 따른 상기 항목별 검토한 결과를 나타내었으며, 이에 따른 적합 대상지를 검토하였다.

도시중심지역인 도심지는 다양한 교통시설이 집중되어 있고 상업·업무빌딩 등으로 밀집되어 있는 관계로 유동인구가 많아 교통이 매우 혼잡한 지역이다. 이 지역에서는 PRT 시스템 설치를 위한 신규 부지확보가 어려워 노면형태의 선로구축물 채택은 불가능하다.

그렇다고 기존 지하철과 같은 고(高)심도의 지하 선로구축물을 설치하기에는 타 구조물 형태에 비해 상대적으로 긴 공사기간을 요하므로 경제성이 떨어지며 도심지 지하의 지장물에도 불리한데다가 상당한 공사기간 동안의 교통 혼잡을 감수해야하므로 고(高)심도 형태의 지하 선로구축물 또한 채택이 쉽지 않다. 그러므로, 도심지의 경우에는 건물과 건물사이를 고가 형태로 연결하는 선로구축물을 구축하는 것을 고려해 볼 수 있다. 선로가 통과하는 인접 건물에 정거장을 연결하고 도심지내 주요 건물을 네트워크 선로망으로 연결한다면 기존 도시철도시스템과 같이 별도의 도로를 점유하는 고가 구조물의 교각이나 정거장 건물 등으로 인한 교통혼잡 유발, 도시미관 저해, 건설비 과다 유발 등을 피할 수 있을 것으로 판단된다. 다음 그림은 영국 히드로공항 PRT시스템의 고가형태의 선로구축물과 호주 시드니 모노레일시스템을 보여준다.



<그림 3.4.48> 고가형태의 PRT 선로구축물(영국 히드로공항)


<그림 3.4.49> 도심지내 슬림한 고가형태 선로구축물 (호주 모노레일)

특히 호주 시드니 모노레일시스템의 경우 도심지내 건물과 건물사이를 주행할 수 있는 선로를 가로등 정도 높이의 그리 높지 않은 슬림한 고가형태의 구조물로 구축되어 있다. 그리고, 주요 건물에 정거장을 연결하여 활용하고 있고 고가구조물의 교각이 인도에 설치되었음에도 잔여 인도 최소폭이 2~2.5m 이상 확보 가능하며 별도의 차도 차선을 요하지 않는 사례를 나타낸 사진으로서, 본선에서 분기하여 설치되는 역을 갖는 PRT시스템과는 다르지만 도심지내 적용시 참조할 수 있겠다.



<그림 3.4.50> 건물과 연결된 정거장 및 열차 진입 모습(호주 모노레일)

또 다른 방식으로, 기존의 고(高)심도 지하 구조물과는 달리 상부를 차도 혹은 인도로 활용할 수 있는 저(低)심도 지하 구조물로 구축하는 것도 고려할 수 있겠다. 고가 구조물의 교각 설치에 따른 상부 공간을 요하지 않는데다가 상부를 차도 혹은 인도로 그대로 활용할 수 있어 소요 면적을 최소화하여 건설되어야 하는 복잡한 도심지내에 적합한 선로구축물 형태로 고려될 수 있겠다.

이미 건설된 舊 신도시의 경우에도 기존 도심지와 같이 PRT시스템 신규 건설 부지 확보가 쉽지 않을 것이므로 노면 형태의 선로구축물 채택은 불가능하며 이 역시 도심지와 마찬가지로 고가형태 혹은 저(低)심도 형태의 선로구축물이 적합할 것으로 판단된다. 다만, PRT 특성상 신도시를 지나는 주요 도시철도 역과 일부 업무·상업 중심지역을 포함하여 대다수 신도시 내부 주요 거주지역을 연결하는 시스템인 점을 감안할 때, 복잡한 상업·업무빌딩 등으로 밀집된 도심지와는 달리 교통 혼잡 유발이 크지 않은 경우에는 거주지역의 사생활 침해 방지 및 도시 미관 등을 고려하여 지하형태의 선로구축물을 고려할 수도 있겠다. 특히, 지하철 등의 간선교통체계와의 연계를 위한 접근 수단인 지선교통체계로 고려되는 지역에서 지하철 역사와의 직접적 연계되는 곳에서는 고(高)심도 지

하형태의 선로구축물을 고려할 수 있겠다. 다만, 고(高)심도 지하형태의 선로구축물의 경우 공사기간이 길고 이에 따른 건설비용이 크다는 점을 감안하여 신중한 도입 검토가 필요하다.

<표 3.4.17> 선로구축물 형태 비교

※ 범례: ◎ 좋음, △ 보통, × 나쁨

구 분		고가 형태	노면 형태	지하 형태 (저(低)심도)	지하 형태 (고(高)심도)
경제성		△	◎	△	×
민원여부		×	◎	◎	◎
타교통수단 연계성	버스	△	◎	◎	△
	지하철	×	△	△	◎
지장물	지상	×	△	◎	◎
	지하	△	◎	×	×
공사중 교통혼잡 유발 여부		×	△	△	×
도시미관 등 환경성 측면		×	△	◎	◎
유지관리 용이성		×	◎	△	×
사고시 대피 측면		△	◎	×	×
교차, 횡단 유연성		◎	×	◎	◎
적합 대상지		도심지, 舊 신도시	新 신도시	도심지, 新 신도시	도심지, 新/舊 신도시

한편, 새롭게 계획 중인 新 신도시의 경우에는 신도시 용지 계획·설계시부터 반영하여 PRT시스템 신규 건설 부지를 확보한다면 상기 표에서 보듯이 대다수 검토항목에서 우수한 노면 형태의 선로구축물 채택이 가능하다. 이 경우, 교차로 혹은 횡단보도가 위치하는 지역에서는 고가 혹은 지하형태의 선로구축물로 대체하거나, 노면전차시스템과 같이 일반도로교통수단과 도로노면 및 교통신호·표지체계를 함께 활용하여 운영할 경우 전 구간 노면형태의 선로구축물로 구축이 가능하다. 노면 형태의 선로구축물 구축시 공사기간이 상대적으로 단축되어 건설비용이 상당 절감될 수 있으며, 택시처럼 출발지에서 목적지까지 논스톱으로 운영되고 쉽게 타고 내릴 수 있어 이용승객의 이용이 고가 및 지하형태 구조물에 비해 보다 편리한데다가 버스 등 타 교통수단과의 연계성이 좋다. 또한, 유지보수 측면에서 고가 및 지하형태의 선로구축물에 비하여 상당히 유리하다. 다만, 교차로를 종·횡단하여야 하는 경우 고가형태 및 지하형태 선로구축물에 비해 유연성이 떨어지는데 종·횡단 지역에 대해서는 일부 고가형태 혹은 지하형태 선로구축물로 건설되어야 한다. 이 경우 적용되는 PRT 차량시스템의 등판성능 등을 고려하여 적정 기울기(구배)를 갖도록 선로구축물을 건설하여야 한다. 국외 PRT시스템의 경우 미국의

Taxi2000와 PRT2000의 경우 최대기울기가 각각 15%, 10% 정도이다. 또 다른 방식으로, 신(新) 신도시의 경우에 도시 미관을 고려하여 저심도 형태의 선로구축물 건설을 고려해 볼 수 있겠다. PRT 차량의 교차로 횡단 및 보행자의 차도 횡단 유연성이 노면형태 선로구축물에 비해 우수하는 등 구조물 상부를 차도 혹은 인도로 활용할 수 있어 효율적인 공간 활용 측면에서도 우수한 것으로 판단된다.

그림 3.4.51은 영국 히드로 공항에서 운용 중인 주차장과 공항터미널을 연결하는 PRT 노선을 나타낸 것으로서, 노면형태의 선로구축물과 도로를 횡단하는 부분 등 에 고가형태의 선로구축물이 혼용된 사례를 보여준다. 그림 3.4.52는 호주 시드니의 노면전차시스템을 나타낸 것으로서 전용선로를 갖는 PRT시스템과 달리 선로를 일반 차도와 병행 사용하고 있는 형태로서, 이용승객이 쇼핑지역 등 주요 지역에서 쉽게 이용할 수 있는 등 노면형태의 PRT 선로구축물 적용시 참조할 수 있겠다.



<그림 3.4.51> 노면 및 고가형태 선로구축물이 혼용된 영국 히드로공항 PRT시스템



<그림 3.4.52> 일반차도와 병행운영 중인 호주 노면전차

4. 무선통신방식

가. 무선 통신망 기술

(1) 802.11 계열

802.11은 IEEE가 승인한 무선 랜 국제 표준으로서 MAC과 물리계층(PHY)의 상세 규격을 제공한다. 802.11 프로토콜에서 매체 접근을 위한 기본적은 메카니즘은 Distributed Coordination Function (DCF)으로, 이것은 CSMA/CA를 기반으로 하여 같은 클러스터 (Basic Srvice Set)에 있는 모든 디바이스들이 무작위로 접근하는 개념이다. 또한, 무선 트랜시버는 송신과수신을 동시에 할 수 없어서 충동감지가 실행 불가능하기 때문에 사전 충돌 회피가 적용 되었다.

802.11, 802.11a, 802.11b와 802.11g 등 네 가지 규격이 이에 속한다. 이 네 가지 규격은 경로 공유를 위해 모두 이더넷 프로토콜인 CSMA/CA를 사용한다. 802.11b 표준이 초당 약 11 Mbps의 속도를 제공하는데 비해, 가장 최근에 승인된 표준인 802.11g는 비교적 짧은 거리에서지만, 최고 54 Mbps까지의 빠른 전송속도를 제공한다. 802.11g도 802.11b와 같이 2.4 GHz 대역에서 동작하므로, 둘 간에는 서로 호환성이 있다. 종종 Wi-Fi라고도 불리는 802.11b 표준은 802.11에 대해 후위 호환성을 제공한다. 전통적으로 802.11에서 사용되는 변조방식은 PSK이었지만, 802.11b에서 채택한 변조 방식은 더 빠른 데이터 전송속도를 제공하면서도, 다중 경로 전달에 의한 간섭을 받을 소지가 적은 CCK를 사용한다.

802.11a 규격은 무선 ATM 시스템에 적용되며, 액세스 허브에서 주로 사용된다. 802.11a는 5GHz~6GHz의 무선 주파수 대역폭에서 동작한다. 802.11a는 최고 54Mbps까지의 데이터 전송속도를 낼 수 있도록 OFDM이라고 불리는 변조 방식을 사용하지만, 대부분의 경우 실제 통신은 6, 12 또는 24Mbps의 속도로 이루어진다. IEEE가 1997년에 정한 무선 LAN 규격인 IEEE 802.11의 차세대 규격.「IEEE 802.11b high rate」라고도 하며 2.GHz대의 전파를 사용한다. CCK 모듈데이션 방법을 사용한다. 데이터 전송 속도는 IEEE 802.11에서는 최고 2Mbps였으나 IEEE 802.11b에서는 11Mbps까지 올렸으며 IEEE 802.11과도 호환성이 있다. 무선 LAN 규격인 IEEE 802.11b(WI-FI)의 일종. 802.11b는 2.3GHz 주파수 대역에서 11Mbps의 속도로 데이터를 전송하며 802.11a는 5GHz 주파수 대역에서 54Mbps의 속도로 데이터를 전송하는데 비해 802.11g는 2.4GHz 주파수대역에서 54Mbps로 데이터를 전송한다.

IEEE 802.11 네트워크 환경은 여러 대의 클라이언트가 접속해 네트워크를 구성하는

Infrastructure 방식과 각 클라이언트들이 핫스팟 없이 서로간에 데이터를 주고 받는 ad-hoc 방식으로 구성될 수 있는데, 보통 인프라스트럭처 네트워크는 핫스팟이 필요하므로 초기 비용이 많이 들지만, 더많은 클라이언트를 수용할 수 있고 더 넓은 접속반경을 제공해주기 때문에 자주 쓰인다. 멀티홉 망에서는 hidden node와 exposed node라 불리는 문제들이 MAC 효율성에 큰 영향을 준다 . 결국 초기에 Request To Send/Clear To Send (RTS/CTS) 제어 패킷 교환을 사용하는 가상 반송파 감지 기법을 통해 숨겨진 단말로 인한 충돌 기회를 상당히 줄일 수 있다. 충돌 패킷들의 재전송은 보통 이진 지수 분포 backoff 규칙에 따라 관리 된다. DCF는 액세스 포인트와 같은 어떠한 내부 기반 요소들도 필요로 하지 않는 Ad-hoc 네트워크를 지원하게 되어 있다. 만일 서비스 집합 내에 액세스 포인트와 같은 내부 기반 요소들이 분명히 인지되면, 중앙 집중화된 MAC 프로토콜인 Point Coordination Function (PCF)이 사용되어 충돌에 자유로운 제한된 시간의 매체 접근이 가능하다.

802.11 프로토콜이 거리의 함수로 가변 전송률을 지원하기 때문에 빠른 이동성의 또 다른 부작용은 결과적으로 일시적 연결이 다중 전송률 특성을 갖는다는 점이다. 따라서, PC의 수용 영역을 통과하는 한 노드는 연결 기간 동안 가변 데이터 전송률을 갖게 된다. 이것은 NAV가 현재의 전송률을 기반으로 하기 때문에 미래의 가상 센싱에 사용될 NAV를 더 크게 또는 작게 추정하는 것과 같은 잠재적인 문제를 발생시킨다. IEEE802.11 표준의 무선 랜 기술은 광대역 무선통신을 실현하는 수단으로서 폭 넓게 시장에 보급되었다. PC나 가전, 휴대단말을 비롯한 다양한 기기에 탑재되고 이다. 현재도 더욱 고도화를 위한 기술혁신을 계속하고 있는데, 예를 들면 물리층의 고속화 기술을 검토하고 있는 IEEE802.11n에서는 MIM O 기술을 사용하여 무선 전송속도가 600Mbps에 달하는 방식의 표준화를 진행하고 있다. 한편 IEEE802.11s는 무선랜 MAC층에 장착되는 기술을 타겟으로 하고 있으며 통상은 하드웨어 상에서 동작하는 드라이브 등의 소프트웨어에 의해 실현된다. 때문에 이미 보급된 무선 랜 하드웨어를 유용하게 사용할 수 있다. 무선 랜 메쉬 네트워크의 대표적인 적용 영역은 홈 네트워크, 오피스 네트워크, 공중 엑세스 네트워크, 이동단말 애드 혹 네트워크 등을 들 수 있다.

다음으로, 도로교통분야의 지능형 교통 시스템인 ITS(Intelligent Transport System)와 관련하여 ISO TC204 WG 16에서 표준화 및 연구가 진행중인 중장거리용 무선통신(CALM: Continuous Air Interface for Long and Medium Range)을 소형궤도열차의 네트워크 운행제어에 적용하는 방안을 고려할 수 있다. CALM의 기본 개념은 2세대 및 3세대 이동통신과 적외선, 밀리미터파 및 5.9GHz대역의 현행 통신시스템을 활용하여 자동차 환경의 지능형 교통시스템을 위해 설계되고 있는 인포테인먼트(infortainment) 플랫

폼으로서, 무선 통신을 위한 공통적 구조, 네트워크 프로토콜 및 무선접속 규격 정의와 방송, 점-대-점, 차량간 및 차량-대-지점 통신을 위한 파라미터와 프로토콜을 제공하는 것이다. CALM은 자동차에서 휴대전화, 차량내 인터넷 접속, 자동 운전 및 충돌방지, 경로 안내, 정보서비스, 차량-대-차량 감지 시스템 및 자동 속도 제어 등의 서비스를 목적으로 표준화가 진행중이다. 특히, 이와 같은 무선통신방식중 5GHz 대역의 무선접속방식에 대해서는 WAVE(Wireless Access for Vehicle Environment)의 표준화 활동을 수행하는 IEEE 802.11p에서 주도적으로 진행하고 있다.

(2) DSRC(Dedicated Short Range Communication)

현재 도로 교통의 전용통신장치로 사용되고 있는 DSRC 프로토콜은 우선적으로ETC (Electronic Toll Collection) 시스템에 사용되고 있으며, 여러 가지 ITS 서비스로 활용이 예상됨과 유럽과 일본, 미국에서는 이미 국가 또는 지역 표준이 승인되었고, 국내에서는 초안이 완성된 단계이다. DSRC 방식은 ITS 전용의 단거리 통신 방식으로 도로변에 설치된 노변통신장치 (RSE: Road Side Equipment)와 차량에 설치된 차량통신장치 (OBE: On Board Equipment) 사이에 단거리 무선 고속 패킷 통신 기능을 제공한다. DSRC는 물리계층과 MAC계층, LLC 계층, 응용 계층으로 구성되어 있다. DSRC는 ITS의 서비스를 제공하기 위한 통신수단의 하나로, 노변장치라고 불리는 도로변에 위치한 소형 기지국과 차량 내에 탑재된 차량 탑재장치 간의 단거리 전용통신을 의미하며 노변-차량간 양방향 근거리 통신 (Coverage 100m 이하), 일 대 다수의 통신기능, LOS (Line of Sight)를 유지할 수 있는 통신환경, 고속전송(~1Mbps) 기능, 값싸고 단순한 변조기술을 사용하는 특징이 있다. 최근 지능형 도로교통시스템의 발전에 힘입어 ETC시스템과 함께 급속히 발전하는 기술로써 패킷 데이터 통신 방식을 사용한다.

처음에는 slotted ALOHA 방식으로 그 후에는 예약 방식으로 채널 확보를 하여 통신의 신뢰성을 높인다. 반 이중방식으로 송수신을 번갈아 수행, 매 slot마다 데이터 수신 후 확인을 하므로, 빠른 트랜잭션이 가능하나, 가드 타임 때문에 시간 손실이 크다. 이는 ETC와 같이 수십 msec의 짧은 시간에 모든 처리를 해야 하는 PRT 운행제어 고유의 목적에 적합한 기술이다. 현재는 1Mbps의 채널비트 전송률을 대부분 사용하며, 부가적인 부분을 제외한 실제의 데이터 전송률은 TDD(Time Division Duplex)방식의 경우 단일 방향만 고려할 때 최대 582kbps이다. 이는 빠른 트랜잭션과 수신 확인을 위해 프레임 구조가 매우 비효율적으로 설계되었기 때문이다. 현재 일본에서는 T55 규격의 다음 버전인 T75 규격이 개발되었고 이를 ETC뿐만 아니라 다양한 ITS 서비스에 적용하기 위해 시험 서비스 연구를 매우 활발하게 진행 중이며 미국에서는 ASTM과 IEEE 802.11

에서 차세대 DSRC의 규격을 개발 중에 있으며 이는 IEEE 802.11a를 기반으로 하며, 출력 또한 최대 1W이상으로 송출하여 긴급사고 발생 시에 수 km 거리에서도 통신 가능하게 된다. DSRC 통신방식에서, 차량 단말기와 노변 기지국의 통신 셀 크기는 10미터 이내이고, 주파수 대역은 5.8 GHz 대역을 사용하며 최대 데이터 전송속도는 하향링크가 500Kbps, 상향링크는 250Kbps로 구성되는 수동형 통신방식은 차량 단말기와 노변 기지국간 여러 개의 차량 단말기와 다중접속이 지원되지만 상향 링크 구성 시 기지국의 CW(Continuous Wave)를 제공받아야 함으로 반이중 통신이 이루어지며 CW 전력으로 인하여 주파수 재사용을 위한 노변 기지국간 거리가 260미터 이상이어야 한다. 수동형 방식은 셀 크기가 10미터 이내로 ITS 서비스의 제약이 되는 단점이 있다.

즉, 수동 방식의 경우, 노변기지국에서 송신된 신호를 차량 단말기에서 반사하여 통신하는 방식이므로 송수신기의 공중선 이득이 커야 하고 통신 거리가 통상적으로 수m 이내이어야 한다. 적외선 방식의 경우도 수동형과 비슷할 것으로 예상되며, 현재 사용되는 경우가 리모콘이나 IrDA(적외선통신)와 같이 수 m내에서의 컴퓨터 인터페이스, 도로변에서 차선 별로 사용되는 비이콘 정도이고, 수십m 이상의 영역에서 통신 서비스가 제공되는 경우는 없다. 능동형 방식의 경우 노변기지국과 단말기의 송신 출력에 따라 신호 도달 범위가 결정되지만, 노변기지국의 공중선의 높이에 따라 통신 영역의 크기도 결정된다. 노변기지국의 공중선 높이가 통상 10m 정도라고 하고 주변에 장애물이 거의 없는 경우라면 수 km까지도 통신이 가능하며, 도심지 안의 환경이라면 수십m 내지는 수백m까지 통신이 가능하다. 일본의 경우는 최대 30m의 통신 영역을 고려하고 있고, 미국의 경우 최대 1km까지의 영역을 고려 국내에서는 100m 정도를 고려중에 있다.

고정국인 RSE와 이동하는 차량의 OBE 사이의 송수신기를 구현하는 방법에는 능동방식과 수동방식으로 대별 된다. 능동방식은 미국, 일본을 중심으로 활발히 검토되고 차량 단말기와 노변 기지국간 무선 데이터 통신을 함에 있어 통신 셀크기는 수 미터에서 수백 미터이고, 주파수 대역은 5.8GHz 대역을 사용하며 데이터 전송속도는 양방향 링크가 1Mbps이상 인 무선 패킷 통신 방식이다. RSE와 OBE 모드에 발진기를 내장하여 독립적인 통신 채널을 사용하며, OBE에 발진기를 내장하므로 화로가 복잡해져 단말기 당 가격이 다소 높은 단점을 갖는다.

대표적인 수동형 DSRC 통신방식의 차량 단말기와 노변 기지국의 통신셀 크기는 10미터 이내이고, 주파수 대역은 5.8GHz 대역을 사용하며 최대데이터 전송 크기는 하향링크가 500kbps, 상향링크는 250kbps이다. 이통신 방식은 차량 단말기와 너변 기지국간 여러 개의 차량 단말기와 다중접속이 지원되지만 상향링크 구성시 기지국의 CW를 제공받아야 하므로 반이중 통신이 이루어지며 CW 전력으로 인하여 주파수 재사용을 위한

노변 기지국간 거리가 260m 이상 되어야 한다. 그리고 이 방식은 셀 10m 이내로 서비스의 제약이 되는 단점이 있다. 또한, 기지국의 연속적인 반송파의 전력이 크기 때문에 셀간 간섭으로 인한 영향으로 주파수 재 사용률이 저하되는 단점이 있다.

(3) WiBro (Wireless Broadband Internet)

WiBro 표준은 국제 표준인 IEEE 802.16e에 반영되어 2005년 9월 대만 IEEE 802.16e 회의에서 최종 국제표준으로 확정되었으며 TTA(Telecommunications Technology Association:한국정보통신기술협회)는 2004년 6월 OFDMA/TDD 방식의 10MHz 채널대역폭과 기지국 당 최대 약 30Mbps급의 하향링크 전송속도를 지원하는 1단계 WiBro 표준을 제정하였다. 2단계 개정 표준은 2005년 12월 7일부로 최종 공고 된 IEEE 802.16e 규격과 조화시킨 규격으로 국내 WiBro 표준이 국제 표준으로 반영되어 향후 WiBro의 국제 시장을 선도할 수 있게 되었다.

현재 기술적인 면에서 미국은 CDMA 등 기존의 상용 이동통신 기반기술에 관한 원천 특허가 많은 비중을 차지하고 있고, 한국은 OFDM/OFDMA, 스마트 안테나, 핸드오버, 인증기술 등 휴대인터넷 핵심기술 전반에 걸친 광범위한 특허 출원을 진행이다. 또한 와이브로가 기술적으로 상용화에 가장 먼저 성공했고, 성능 면에서 경쟁기술들에 비해서 앞서 있는 점 외에 IEEE의 모바일 와이맥스(802.16e) 국제표준의 핵심 프로파일로 포함돼 있기 때문에 해외 각국의 사업자들이 와이브로에 큰 관심을 가지고 있는 현실이다. 모바일 와이맥스는 현재 이동형 무선통신 기술 가운데 표준화 측면에서 가장 앞서 있는 상황이고 IEEE 802.16e 및 휴대인터넷 표준은 2.3GHz 휴대인터넷 인증을 위해 두 가지 인증 방식 (X.509 인증서 기반 RSA 인증, EAP 기반 인증)을권고하고 있으며, 휴대인터넷 단말 (PSS/Portable Subscriber Station)이 인증절차를 수행하도록 정의하고 있다. 그러나 PSS는 사용자의 개인 정보를 외부 침입자로부터 안전하게 보호하는 물리적 보안 장치나 단말용 보안 플랫폼이 없으면 보안상 취약한 단점이 있다. 따라서 보안 취약성을 보완하기 위해 휴대인터넷 단말을 크게 두 부분으로 구성하였으며, 여기에는 개인 정보 및 중요한 키 값을 저장하는 PISIM과 PISIM의 탈/부착이 가능한 단말기 (PE/Portable Equipment)가 있다.

(4) HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)

WCDMA의 발전형으로 하향 링크의 속도를 대폭적으로 높여 멀티미디어 수요에 대비하여 개발되었으며, WCDMA와 비슷한 정도의 커버리지를 가지고 전국적인 이동성을 지원하며 기존의 WCDMA 망을 이용할 수 있으므로 새로운 cell site를 구축하는데 드는

비용이 자고 핵심 망 장비도 같이 사용가능하다. 보다 높은 효용을 위해 1x와 handover (지역 이동 시 자동연결 전환)가 가능한 시스템을 도입하고 단말의 형태도 dual mode로 운용됨으로 인해 보다 높은 수준의 이동성 보장된다. 3.5G 이동통신 규격 표준 확정 최근 TTA에 따르면 최근 개최된 3G 이동통신표준화 회의(3GPP)에서 이동통신 사업자들과 장비 업체들은 3.5G 이동통신 규격인 HSDPA에 이어 HSUPA2표준을 확정되었다. HSDPA는 최대 14Mbps의 속도로 데이터를 다운로드, 3G 이동통신 인 WCDMA (Rel 4)에 비해 최대 7배 빠르며, HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) 는 1.4Mbps 수준인 상향 속도를 5.8Mbps까지 끌어올린 기술이다. 3.5G 이동통신 기술인 HSDPA와 HSUPA 기술이 상용화되면 이동통신 환경에서 모바일 e메일이나 채팅 , 실시간 게임까지도 가능하다. 이에 따라 세계 이동통신 , 장비 업계는 2.5G 및 3G에 이어 3.5G 이동통신으로 한 단계 앞선 진화를 가속화할 것으로 예상된다. HSDPA는 3GPP에서 고속패킷 전송을 위해 하향 링크에 추가된 패킷 전용접속방식이다. 최초의 HSDPA 표준은 WCDMA FDD (Frequency Division Duplexing)표준에서 제정되었으며, 상・하향 10MHz 전송 대역을 사용하는 FDD모드에서 최대 10Mbps 전송률을 제공한다. 또한 FDD에 이어서 TDD 방식에 대한 HSDPA 표준이 제정되었다. 3GPP TDD모드는 5MHz 대역에서 3.84Mbps의 칩 속도를 갖는 HCR(high Chip Rate) TDD모드와 1.6MHz 대역에서 1.28Mbps의 칩 속도를 갖는 LCR(Low Chip Rate) TDD모드의 두 가지 모드가 존재한다. TDD방식은 상・하향 링크에 대한 자원 할당을 비대칭적으로 할당할 수 있으므로, 하향 링크 채널을 최대로 할당 할 경우 HSDPA의 도입으로 인한 전송 효율을 극대화 할 수 있으며, HCR TDD모드의 경우 최대 10.2Mbps, LCR TDD모드의 경우 최대 2.8Mbps의 전송률을 지원한다.

HSDPA에 채택된 적응변복조 기법이나 하이브리드 ARQ(Automatic Repeat reQuest)와 같은 링크 적응 기술을 효율적으로 이용할 수 있으려면 이들을 관리하고 제어하는 부분이 되도록 무선 접속 인터페이스와 가까운 곳에 위치하여야 한다. 더욱이 데이터의 스케줄링을 담당하는 부분이 기존처럼 제어국(RNC)에 위치하게 되는 경우에는 지연시간에 의해 채널 환경에 맞는 적절한 스케줄링이 이루어 질 수 없게 된다. 따라서 HSDPA를 지원하기 위한 기존 프로토콜 구조변화 특징으로는 HSPDA를 지원하는 Node B에는 무선 제어를 위해 MAC 계층의 일부기능이 위치하게 된다.

HSDPA 시대가 예상보다 빠르게 진행되면서 기존 이동통신 기술과 DMB/WiBro 등 대안적 이동통신 기술간의 역학 관계 또한 변하게 될 가능성이 크다. 지금까지 DMB와 WiBro는 기존 이동통신의 고속화가 이루어지기전 단계에서 이동 통신의 취약부분인 모바일 방송과 모바일 인터넷을 지원하는 보완재 개념으로 인식되어 왔다. 그러나 HSDPA

를 통해 모바일 방송과 모바일 인터넷이 충분히 구현될 수 있다면, 3자간의 관계는 대체제 관계로 변모할 가능성이 크다. 먼저 DMB에서 제공하는 맞춤형 모바일 방송과 HSDPA 상의 선택형 스트리밍 TV 및 동영상 서비스가 충돌할 것이다. 또한 와이브로가 제공하는 시속 60km이내 평균속도 4~5Mbps의 휴대인터넷 서비스는 HSDPA가 구현하는 250km이내 평균속도2~3Mbps의 무선 인터넷 서비스와 직접적인 경쟁관계에 놓일 것이다. DMB, WiBro, HSDPA 중 모바일을 서비스에 가장 유리한 위치에 있는 것은 HSDPA일 것으로 생각한다. DMB는 방송이라는 태생적 한계상 모바일 인터넷과 음성전화 구현이 쉽지 않고, WiBro는 음성 통화 부분이 취약하기 때문이다. 다만, DMB는다양한 컨텐츠와 저렴성을 강조하고 기존 2.5G/3G 이동통신망과 공생관계를 형성할 것으로 생각한다.

나. 이동성 조건에서 통신

(1) 무선 메쉬 네트워크 (Wireless Mesh Network)

메쉬 네트워크의 ad-hoc 네트워크는 미국 군사기술을 민간용으로 전환 한 것으로 무선 ad-hoc 네트워크 기능을 탑재한 무선 랜 AP는 전원만 연결되면 네트워킹이 가능함으로 설치가 편리하고 유선망과 연결없이 망 확장이 용이하다. 또한2.4GHz 대역에서 사용할 경우 약 1.5km 범위에서 1.5Mbps 정도의 통신이 가능하고 시속 400km까지의 이동통신에서도 이용이 가능하다.

무선 인프라에 대한 성능시험 결과, 도로환경 (평지, 오르막도로, 대형차량 등)에 따른 무선통신 품질 측정 데이터를 비교 분석할 때, 평지에서의 고속주행 시 또는 대형차량에 의한 음영발생 등으로 인한 전파감쇠 및 데이터 전송 손실이 유의할 만한 수준이 아닌 미미한 것으로 나타나고 있어 최대성능 대비 우려할 만한 편차를 보이지 않고 있다. 상대적으로 도로 환경 위치상 오르막 경사에서의 경우, 품질 측정 데이터가 최대성능(1.5Mbps) 대비 평균 30% 감소되는 것으로 분석되었는데, 이는 오르막 경사가 심한 구간에서 3대 이상의 중복된 트레일러 등 대형차량에 의한 음영발생으로써, 안정적인 성능치인 경우(1Mbps이상)에서 허용되는 대용량 영상데이터 전송에 일시적인 장애요소로 작용한다는 것이 확인되는 바, 특히 적재함 및 차상이 높은 대형차량 및 화물수송차량의 전용 오르막차로 구간에서의 해당 노변 기지국 (IAP)의 설치 시에는 상기의 전파감쇠 대응을 위한 별도의 다중화 및 이중화 설계 /시공으로 해소될 것으로 분석되고 있다.

멀티 호핑에 의한 즉각적인 망 구성이 가능하며, 도로망에 전용 네트워크를 구성하여 교통정보를 전달하고 차량 간의 P2P 연결까지 가능하게 된다. IETF의 MANET 프로젝

터를 모토로라 등이 중심으로 연구되어지고 있다. 무선 상의 고정 또는 이동성 노드로 구성되어 기 정의된 토폴로지에 의해 무선 브로드밴드 네트워킹을 수행하며, 각 디바이스/노드는 프로세싱 파워와 메모리를 제공하여 라우팅 정보가 공유되어 멀티호핑이 가능하다. AP와 무선 라우터는 Peer to Peer 통신을 하게 되며, 다양한 루트를 통한 통신이 가능해 확장성이 높다. 메쉬는 크게 전체가 메쉬로 연결된 형태(Full Mesh)와 부분적인 메쉬(Partial Mesh)로 구분되는데, 전자는 각 노드가 다른 모든 노드와 직접 연결이 되는 형태이고 후자는 일부 근거리 노드에 한정되어 연결되어 있다. 무선 메쉬 네트워크가 가능한 현재의 네트워크 기술은 기존 무선 랜 기술을 기반으로 IEEE802.11a/b/g 기술이 가능하며, 현재의 기술을 바탕으로 향후에는 실시간 서비스 (Qos), Selfhealing, 설치 편의성, 확장성, 보안문제 등 보다 진보된 802.11s, 802.11n의 무선메쉬 네트워크 기술이 개발된 것으로 예상된다.

802.11b는 802.11 무선 랜의 표준 MAC 계층과 DSSS 물리계층 (Physical Layer)인 규격인 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)을 그대로 사용하여 호환성을 유지하고 있으며, 물리계층에서 ODFM(Orthogonal Frequency Division Multiplex ing)다중방식을 이용하여 최대 20Mb/s 전송속도를 갖도록 설계되어 있다. 802.11a는 직교 주파수 다중화 (OFDM)방식을 사용하여 옥외인 경우 고성능 옥외 안테나 설치시 최대 2km 서비스 반경을 갖는 고속데이터 전송을 실현하기 위한 기술이며, 국내의 경우 주파수 대역(5.150~5.250GHz, 5.250~5.350Ghz, 5.725~5.825GHz)을 사용하며, 이중 첫째와 둘째 200MHz 대역은 각각 50mW, 250mW의 전송 전력으로 제한되어 있어 옥내용으로 사용되고, 마지막 100MHz 대역은 최대 전송 전력이 1W로 옥외용으로 분류되고 있다.

802.11s는 유선 백본으로부터 자유로운 메쉬 (mesh)네트워크를 구성하며 자동 설치, 자가 치료 (Self healing)기능이 가능하며, 액세스 포인트(AP)간 케이블링을 필요로 하지 않다. 메쉬 네트워크라 불리는 802.11s는 AP로 구성되는 전통적인 무선 랜을 설치하기 쉽지 않은 지역에 매우 적합한 무선 솔루션이다. 댁내와 도심지에 유리하며 국방, 도로 및 ITS, 컨벤션 센터, 대학캠퍼스 운동장, 선박항구, 공원 등도 좋은 적용사례이다. 802.11n은 차세대 이동통신망 구축기술로서 유선백본으로부터 자유로운 메쉬 네트워크를 구성하며 자동 설치, 자가 치료 기능을 갖으며, 802.11n은 802.11a와 호환성을 갖는 5GHz 대역을 사용하며 반경 100m 내외 지역에서 100Mbps 이상의 전송속도를 제공한다.

(2) Ad-hoc 통신

Ad-hoc 기술은 차량과 차량 간에 정보전달을 위한 최적기술로 운행 중인 차량 간에

메시지통신을 통해 긴급 상황에 사고를 줄이거나 예방하는데 그 목적을 두고 있다. 이를 위해 IEEE 802.11p에서는 최소 200km/h의 속도에서 반경 1,000를 커버하며, 운송수단 (자동차 등)과 길거리의 장치또는 운송수단 간에 5GHz의 주파수 대역을 사용하여 통신을 지원하는 “WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)” 기술로 발전하고 있다.

차량 간 충돌방지를 위한 긴급서비스나 혼잡체증을 회피하기 위하여 V2V통신에 적용된 Ad-hoc 통신기술은 WAVE(IEEE 802.11p) IETF 내 WG인 MANET에서 Ad-hoc 네트워킹 관련 표준에 대한 연구를 진행하고 있으며 특히 이동 가능한 메쉬 표준인 DSR(Dynamic Source Routing), AOD(Adhoc On-Demand Distance Vector), OLSR(Otimezed Link State Routing)등의 프로토콜에 대한 표준화를 진행하고 있다. 긴급통신 기능을 지원하기 위한 802.11p는 802.11a의 PHY, MAC계층을 변형된 기술로 주로실시간 서비스가 요구되는 충돌방지, 여행정보, 요금지불, 교통량 체증 관리를 그 목적으로 하고 있다.

(3) MEA(Mesh Network Enabled Architecture)의 메쉬 네트워크 특징

메쉬 네트워크 장비는 상기의 802.11s와 802.11p의 기술 요구사항을 수용하는 장비로서 미국방위 고등연구계획국 (DARPA)에서 원천 기술을 개발하여 민간 상용화된 메쉬 네트워크 장비이며, 상기에서 언급한 Ad-hoc네트워크 기술을 동시에 활용하여 약 400km/h의 이동속도를 보장하는 망을 구현하고, 현재 미군의 차세대 개인 휴대장비로서 지상군과 헬기사이의 모든 군용장비 간에 적용 운용되고 있으며, 민수 전환된 이래 교통, 소방, 경찰, 항만 및 방재 등에 다양한 적용이 실용화되고 있다.

메쉬 & canopy를 적용하여 구축한 본 시험 측정 시스템은, 무선네트워크상의 멀티홉, 멀티 링크로 인한 무선 환경의 보다 확장된 커버리지를 통하여 다양한 연결경로가 가능하게 하여 끊김 없는(seamless) 데이터 전송의 신뢰성을 높을 수 있다. 신뢰성이 높아지면 재전송의 횟수가 적어지며, 이에 따라 무선통신 부하가 감소되는 바, 데이터를 효과적으로 전송할수 있게 된다. 또한 다양한 통신 루트를 통한 통신은 망의 확장성을 가능케 한다.

5. PRT 수송용량 검토

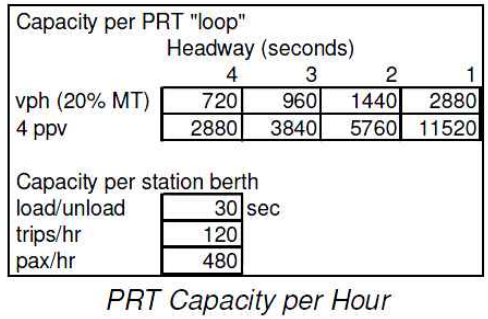
PRT의 용량을 나타내는 기준은 본선용량(Mainline Capacity)와 역사용량(Station Capacity)가 있으며, 본선용량은 본선에서 최대로 수용 가능한 용량이며 노선형태의 설계에 의존하며, PRT시스템의 용량을 결정짓는 파라미터는 역사용량으로서 역사용량은 본선용량으로 한계가 결정된다.

PRT의 수송용량 및 역사규모를 검토하기 위한 조건으로 정차대의 길이는 3.8m로 가정하였으며, 본선운행 평균속도는 40km/h로 가정하여 역별 승차장수에 따른 수송용량의 수치해석 결과를 다음 표에 나타내었다.

<표 3.4.18> PRT 승차장수에 따른 수송용량

항목		역별 정차용량				
		1개	5개	10개	15개	20개
운행횟수 [회/시간]		184	703	1,084	1,323	1,487
처리용량 [명/시간]	탑승률 50%	368	1,406	2,168	2,646	2,974
	탑승률 75%	552	2,109	3,252	3,969	4,461
플랫폼 길이[m] (전체 역 길이)	플랫폼 진출입속도1 6km/h	3.8 (37.8)	19 (53)	38 (72)	57 (91)	76 (110)
	플랫폼 진출입속도2 3km/h	3.8 (45.8)	19 (61)	38 (80)	57 (99)	76 (118)

수치해석 결과를 살펴보면, 처리용량 2,000명/방향/시간 규모에 대해 정차장(플랫폼 진입구간과 플랫폼 진출구간 포함) 시설을 50m~80m로 설계가 가능한 것으로 검토되었다. ULTra사에 의해 분석된 용량을 살펴보면 4인승 차량, 20%의 공차비율 및 4개의 승강장을 가정하였을 경우 4개의 승강장 약 2,000명/방향/시간의 수송력(Station Capacity)을 지니는 것으로 검토되었다(그림 3.4.53 참조).



<그림 3.4.53> ULTra사의 PRT 용량 검토

또한, 미국 New Jersey주의 PRT 실행 가능성 보고서에 따르면, PRT는 버스 및 경전철과 유사한 수송능력을 가질 것으로 예측하였으며, 통행소요시간 측면에 있어서는 약49% (환승이 포함될 경우 78%) 정도 절감시킬 수 있을 것으로 예상하였다(그림 3.4.54 참조).

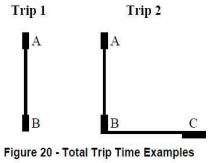


Figure 20 - Total Trip Time Examples

Table 2 - Travel Time Comparisons

Mode	Trip 1 Times (minutes)	Increase Over PRT	Trip 2 Times (minutes)	Increase Over PRT
Heavy Rail	13.0 - 17.0	14-49%	31.0 - 39.0	42 – 78%
Light Rail	17.0 - 21.0	49-84%	39.0 - 47.0	78 – 115%
Bus	18.1 - 22.1	59-94%	41.3 - 49.3	89 – 125%
PRT	11.4	-	21.9	-

<그림 3.4.54> 대중교통 통행소요시간 비교

(Viability of Personal Rapid Transit In New Jersey, 2007)

6. PRT 개발 목표 사양 검토

국내외 PRT 개발업체중 현재 지속적으로 연구개발을 추진중인 대표적인 시스템의 개발 목표사양을 살펴보면 표 3.4.19와 같다. 차량의 성능은 40~80 km/h의 최고속도를 가지며, 가속도는 대부분 2.5 m/s^{2}이고, 감속도는 5.0~6.5m/s^{2}이다. 다만, 네덜란드의 CyberCab 시스템만이 6인승으로 타 시스템에 비해 급격한 가감속을 제한하였다. 또한, 대부분의 3~4인승 PRT 시스템은 공차하중 700~800 kgf, 만차하중 1,000~1,300으로 유사하며, 노선조건에 있어서, 최급구배 및 최소반경은 5~20 ‰ 및 5~16 m으로 유사하다. 차량주진방식에 있어서 대부분 시스템이 차량에 설치된 영구자석 또는 LIM을 사용하는 반면 유일하게 VECTUS사의 시스템만이 지상에 설치된 LIM을 추진동력으로 사용한다. 전원공급은 제3궤조 및 배터리 방식이 적용되며, 최근 배터리 기술의 발달에 따라 배터리를 적용하는 시스템이 증가하는 추세이다.

<표 3.4.19> 국내외 개발중인 PRT 개발 목표 사양

주요사양		TAXI 2000 (미국)	ULTra (영국)	CyberCab (네덜란드)	VECTUS (대한민국)	Skycar 2000 (대한민국)
성능사양	최고속도(km/h)	80	40	40	60	60
	가속도(m/s^2)	2.5	-	0.8	2.5	2.5
	감속도(m/s^2)	6.5	-	1.0	5.0	6.5
하중조건	차량정원(명)	3	4	6	4	4
	공차하중(kgf)	800	820	1,350	800	700
	만차하중(kgf)	1,000	1,300	2,150	1200	1,000
노선조건	최급구배(‰)	15	20	5	10	15
	최소반경(m)	11	5	11	5	16
차량추진방식		LIM (On Board)	영구자석 동기전동기	영구자석 동기전동기	LIM (In Track)	LIM (On Board)
전원공급방식		제3궤조	배터리 충전	배터리/ Hybrid	필요없음	제3궤조
안내조향방식 (분기)		안내레일/ 안내륜	궤도 Magnet/ 차량센서	궤도 Magnet/ 차량센서	안내레일/ 안내륜	안내레일/ 안내륜
병합제어방식		비동기식	동기식	-	비동기식	비동기식

본 절에서 살펴본 하부시스템별 기술적 검토를 토대로 국내외 PRT 개발 사양의 분석을 토대로 향후 실용화를 위한 후속 과제에 있어서 PRT 개발 목표 사양을 다음의 표 3.4.20과 같이 제시한다. 더불어, 대중교통체계의 보완측면에 있어서 4~6인승의 PRT 시스템에 의해 통행수요를 수용하지 못하는 구간에 대하여 수송용량의 확보 측면에서 표 3.4.21에 제시된 사양을 지니는 12인승의 GRT 시스템의 혼합 운영(합승 및 스케줄 모드)을 고려할 수 있다.

<표 3.4.20> PRT 개발 목표 사양(4~6인승)

항 목		목표사양	비고
하중조건	최 대 승객하중	1.0 ton/량	
	공차중량	1.0 ton/량	
	만차중량	2.0 ton/량	
	최대축중	1.0 ton/량	
차 량 성능사양	성 능 최고속도	70km/h 이상	
	운 행 최고속도	60km/h	
	표정속도	60km/h	
	가 속 도	2.5~3.0 ㎨ 이상	
	감 속 도	상용 : 2.5~3.0 ㎨ 이상	비상 : 5.0 ㎨ 이상
차 량 주요사양	차량크기	3.8 × 2.0 × 1.8 [m]	
	축간거리	2.59 [m]	
	윤간거리	1 [m]	
운행조건	운전시격	10초이하	
	제어방식	비동기제어방식	병합부 동기방식 검토
	운영모드	요구모드	12인승 GRT의 스케쥴모드와 혼용 검토

<표 3.4.21> GRT 개발 목표 사양(12인승)

항 목		목표사양(안)	비 고
하중조건	최 대 승객하중	0.8 ton/량	- 승차정원 12명 내외 - 입석승객은 고려하지 않음.
	공차중량	3.2 ton/량 이하	
	만차중량	4.0 ton/량 이하	
	최대축중	2.0 ton 이하	
노선조건	최급구배	10 % 이상	
	최 소 곡선반경	10m 이하	- 차량한계, 축간거리, 안내조향 방식 등을 종합적으로 고려하여 기본설계 단계에서 확정
운행조건	운행편성	1량 운행	- 고장차량을 견인할 수 있는 기능과 능력을 보유
	운행방식	-	- 차량형식, 분기방식을 종합적으로 고려하여 기본설계에서 확정 예정
	승객정원	12명/량	- 적용가능 노선의 승객수요, 운영효율성, 최소운전시격 등을 고려하여 기본설계에서 확정
차 량 성능사양	성 능 최고속도	70km/h 이상	
	운 행 최고속도	60km/h	
	표정속도	40~45km/h	- 목표노선에서의 표정속도
	가 속 도	1.5~2.0 ㎨ 이상	- 차량중량, 전동기용량, 노선구배, 주행저항 등을 고려하여 기본설계 단계에서 확정
	감 속 도	상용 : 1.5~2.0 ㎨ 이상 비상 : 2.0~2.5 ㎨ 이상	

7. 시스템간 인터페이스 사양(안)

시스템간 상호 인터페이스는 하부 시스템별 구체적 사양이 결정되어야 함에 따라 여기서는 시스템별로 변함이 없는 내용은 기술하되 정의되지 않은 사항은 항목관리 필요성이 있는 부분 위주로 정의하였다.

가. 시스템 엔지니어링 - 운행제어

(1) 오프라인 및 대피선 운영

PRT 차량을 오프라인 또는 대피선으로 진입 또는 진출하기 위한 운영모드의 정의를 하여야 한다. 이것에 의해 운영로직을 구현하여야 한다.

(2) 검수고에서 본선진입운전 모드

PRT차량이 검수고에서 본선으로 진입하기 위한 운전모드를 정의하는 것으로, 운전모드를 정의하기 위해서 검수설비 및 차량운전모드에 대한 데이터가 필요하다. 검수설비에서는 검수요원의 안전을 위해서 차량에 대한 전력공급방식에 대하여 정의하여야 한다.

(3) 플랫폼도어 인터페이스

PRT에 플랫폼도어를 설치할 경우, 스크린도어를 차량한계와 관련되어 있는 물리적인 인터페이스뿐만 아니라, 제어장치와 플랫폼도어 제어 장치간 인터페이스는 제어장치에서 출입문 명령하고 재개·폐는 플랫폼도어 제어장치에서 하는 등의 역할을 정의하여야 한다.

나. 차량 - 운행제어

(1) 차량제어장치와 운행제어간 인터페이스

PRT 시스템의 가·감속에 대한 명령/제어와 출입문제어 등 안전성과 관련된 기능을 수행하는 차상장치에는 운행제어시스템와 차량제어시스템이 있다. 운행제어시스템 및 차량제어시스템간 인터페이스 및 기능분담을 적절히 하여야만 무인운전을 완전하게 수행할 수 있다. 아울러 운행제어 시스템과 차량제어시스템간의 통신 방식을 정의하여야 하며, 기존 시스템에서는 시리얼 통신으로 연결되어 있다, 아울러 통신사양, 정보전송 내용, 데이터 포맷에 대하여도 정의가 요구된다. 또한 물리적인 취부 위치, 이격거리, 크기 및 주변에 미치는 영향등에 대한 고려를 하여야 한다.

(2) 속도센서 인터페이스

구체적으로는 속도센서등과 인터페이스로 기본적인 구성에 따라 속도센서 사양을 정의하고 주요용도로 속도 및 거리 산출, 전진/후진검지, 이상검지, 단선검지/속도차 비교 검지용으로 필요하다.

(3) 제동장치 인터페이스

(가) 보안제동

운행제어시스템에서 2종류의 보안제동(비상제동, 최대상용제동)을 출력한다. 비상제동은 직접 제어를 하고, 최대상용제동은 차량제어시스템을 경유하여 제동장치에 제동을 인가한다. 지령선 단선 또는 차량제어장치 고장 시 반드시 제동을 인가한다.

(나) 운전제동

운행제어시스템에서는 제동노치에 상당하는 제동코드를 차량제어시스템에 출력하고, 차량제어시스템은 이를 갖고 제동장치에 대한 제동지령으로 사용한다.

(다) 제동코드

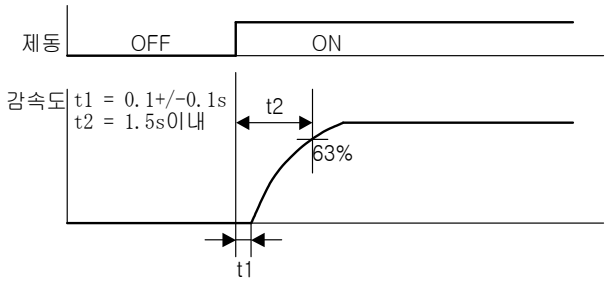
제동코드에 대하여 정의하여야 한다. 기존 철도 시스템은 아래와 같이 정의되어 있다. 시스템 제어상의 검토가 필요하나 동일하게 접근해도 무리가 없다고 보여진다.

<표 3.4.22> 기존 철도 제동코드

제동코드	ONBR3	ONBR3	ONBR3	감속도
1	0	0	1	소
2	0	1	0	;
3	0	1	1	;
4	1	0	0	;
5	1	0	1	;
6	1	1	0	대
7	1	1	1	상용최대제동

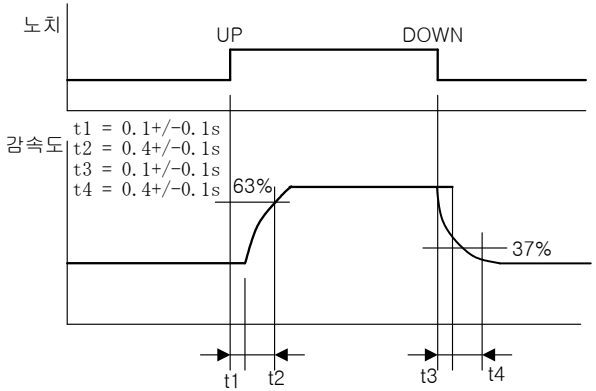
(라) 제동제어장치의 요구성능

· 제동응답시간 : 운행제어 컴퓨터가 제동을 출력한 시점부터 제동장치가 응답한 시간을 다음과 같이 정의한다.



<그림 3.4.55> 제동응답시간

· Jerk제어 및 노치변화에 대한 응답시간 : 승차감을 고려하여 운행제어시스템에서 노치변경을 1step 단위로 하지만 제어측에서는 Jerk제어를 해야 한다.



<그림 3.4.56> 제동노치 변화시 응답시

· 제동감속도와 응하중 : 각 제동노치에 대한 감속도를 다음과 같이 표시하였다. 감속도의 정확성은 모든 속도영역에서 +/- 10% 이내로 한다. 또한 응하중의 범위는 승차율 0 - 200%로 한다.

(4) 추진제어장치 인터페이스

운행제어시스템은 역행 노치에 상당하는 역행코드를 차량제어시스템으로 출력하고, 이를 받은 차량제어시스템이 추진제어장치에 대한 역행제어를 행한다.

(가) 역행노치와 역행코드

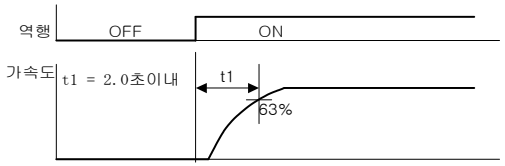
<표 3.4.23> PRT 역행노치와 역행코드

역행치	P3R	P2R	P1R	감속도
1	0	0	1	소
2	0	1	0	:
3	0	1	1	
4	1	0	0	대

(나) 추진제어장치의 요구성능

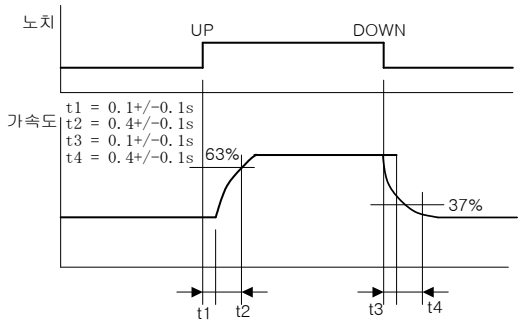
· 역행응답시간 : 운행제어장치가 역행을 출력한 시점부터 추진제어장치의 응답시간까지를 규정한다.

· 역행응답시간 t1 = 2.0초 이내



<그림 3.4.57> 역행응답시간

· Jerk제어 및 노치변화에 대한 응답시간 : 승차감을 고려하여 운행제어장치에서 노치변경을 1step단위로 하지만 제어측에서도 어느 정도 Jerk제어가 필요하다.



<그림 3.4.58> 역행노치변환시 응답시간

· 역행각속도와 응하중 : 각 역행노치에 대한 가속도를 다음과 같이 표시하였다. 가속도의 정확성은 모든 속도영역에서 +/- 10% 이내로 한다. 또한 응하중의 범위는 승차율 0 - 200%로 한다.

(5) 출입문 인터페이스

(가) 일반적인 출입문 장치

출입문의 구성은 일반적으로 다음의 3가지로 크게 나누어지고 있다.

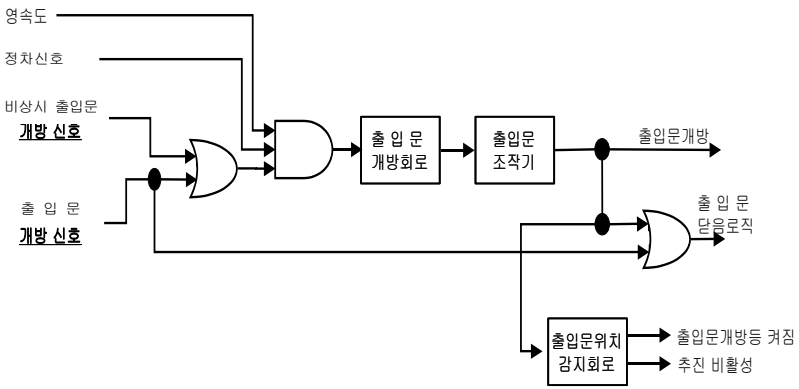
· 전기제어장치 : 차량제작사가 담당하는 것으로 출입문장치 구성품의 조립에 대한 책임을 갖는다.

· 출입문조작장치 : 출입문의 한 구성품으로 공급자가 성능에 대한 책임을 갖는다.

· 출입문 패널, 레일 및 행거 : 출입문 구성품 공급자가 공급을 하거나 차량제작사에서 제작을 담당한다.

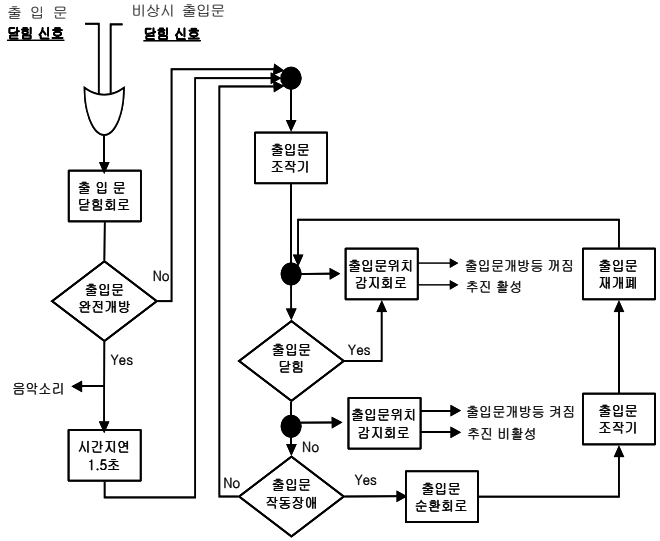
(나) 출입문 일반적인 출입문 장치

차량의 출입문을 개폐하기 위해서 차량내 통신라인(Train Line)에서 출입문제어로직으로 신호를 전송한다. 출입문 자동개·폐 모드에서는 운행제어시스템에서 출입문의 작동을 초기화한다. 출입문을 개방하기 전에 반드시 차량은 역에서 정차를 완료해야 한다. 이러한 요구조건에 대한 수행완료는 반드시 운행제어시스템을 통하여 확인을 받아야 하며 이것을 검증하는 방법으로는 자동으로 수행하는 법과 수동으로 하는 법이 있다.



<그림 3.4.59> 출입문 개방 절차

정차조건이 만족되면 출입문 개방 회로 또는 출입문개방 스위치가 활성화된다. 전력이 공급되어 출입문 패널이 개방위치까지 움직인다. 출입문이 개방되면 여러 가지 작동이 유발된다. 즉 제한 및 위치감지 스위치가 추진제어장치의 동작을 제한하고 출입문개방상태정보를 운영자에게 알려준다.



<그림 3.4.60> 출입문 닫음 절차

상기 그림에서와 같이 출입문을 닫을 때도 승객을 위한 안전한 기능을 포함하고 있어야 한다. 일반적으로 출입문을 닫기 전에 승객에게 출입문이 닫히고 있음을 소리(음악) 또는 안내방송 등으로 알린다. 만약 승객 또는 다른 장애물이 존재하면 출입문 감지장치가 이러한 것을 감지하여 출입문을 다시 개·폐한다. 이것이 기존 시스템의 절차로서 PRT 차량도 유사한 개념으로 정의되어야 한다.

(다) 출입문 제어의 기능분담

출입문을 제어하는데 두 가지 방안을 제시하고자 한다. 첫째는 운행제어시스템에서 출입문제어에 관한 모든 기능을 담당한다. 둘째는 운행제어시스템에서는 명령만을 차량제어시스템에 전달하면 차량제어시스템에서는 명령에 따라 출입문 개·폐를 수행하고 수행된 결과를 감시하여 운행제어시스템에 보고하는 것이다.

다. 차량 속도/위치 검지

PRT 운행의 안전성확보에 차량의 속도 및 위치검지가 필수로 된다. PRT차량위치검지 방법으로는 지점검지, 구간검지, 연속검지 이 3가지로 대별된다.

차량위치는 1개 차량에만 점유된 공간을 허용하여 차량 상호간의 충돌을 방지하는 폐색제 어를 위해서 필요하다. 궤도회로의 구간검지는 이 폐색개념에 따라 차량위치를 검지하며 차량제어에 사용하는데 충분한 신뢰성을 가지고 있어야 한다. 최근 시스템의 가용성, 저비용, 고밀도 운전 등에 목적을 두고 무선을 이용한 새로운 시스템이 개발되고 있는데 이것은 특정의 폐색구간을 갖지 않고, 각각의 차량위치를 연속적으로 검출하여 차량상호간의 안전성을 확보하는 이동폐색 제어개념이다. 차량위치검출은 충분한 신뢰성을 필요로 하고 있어 실시간으로 차량의 위치를 검지한다.

(1) 연속적인 위치검지방법

연속적인 차량의 위치 및 속도검지방법으로는 다음과 같은 것이 있다.

(가) LCX(누설동축케이블)을 이용한 차량위치검지

· 전파의 전달지연을 검출

LCX에서 tone신호를 지상에서 송신하고 차상에서 반송하여 왕복전달지연시간을 측정하여 차량위치를 구하는 것으로 3m이하의 정도로 검출되는 보고가 있다.

· 레벨변화 등을 검출

LCX 근방에서는 슬롯중간에 자계가 역상으로 되는 파형을 만든다. 차상에서 이것을 카운트하여 차량의 주행속도 및 거리를 산출한다. 이 경우 차량과 LCX와의 이격은 슬롯의 이격에 의존된다.

· 전파의 위상을 검출

LCX를 적당한 길이로 분할하여 접속부분에서 위상차를 만들고 차상에서 위상의 불연속점을 카운트하여 차량의 주행속도 및 위치를 검출하는 방식이다.

(나) 유도무선을 이용한 차량위치검지

· 차상커플러에 의한 반사

2대가 상호 결합하지 않는 구조의 평행선로에 펄스를 전달시켜 차상 반사기에서 반사시켜 거리를 검출한다.

· 지연유도기

지상에 포설한 지연유도기의 양단에서 주파수가 다른 신호파를 송신하고 차상에서 그 위상차를 검출하는 방식으로 일본 신교통시스템의 차량위치검지에 제안되었다.

(다) 교차유도선

· 이글와이어

1개의 유도선을 궤간에 지그재그로 포설하여 신호파를 흘린다. 차상에 좌우 2개가 설치된 수신 안테나의 레벨차는 0을 교차하는 것으로 이것을 카운트하여 위치를 검출한다. 파리지하철에서는 팬턴벨트라 부르는 정지하는 속도에 맞추어 지그재그간격을 좁힌 유도선을 포설하여 300ms의 일정한 시간간격으로 레벨 0을 검출하도록 속도제어를 하고 있다.

· 등간격교차

등간격으로 교차시켜 포설한 유도선에 신호파를 가한다. 차상의 수신레벨은 교차점에서 0으로 되는 것으로 이것을 카운트하여 위치를 검출한다. 독일의 LZB에서는 100m 등으로 교차된 교차유도선을 사용하고 있고, 차내 신호를 차상으로 전달함과 함께 그 교차점에서 보정한 차축위치에 위해 궤도회로에서 검지한 차량에 대하여 정지패턴을 발생하여 속도제어를 한다.

· 복수대의 코드화 교차

n번째의 대를 단위거리의 2^{n-1}의 길이로 교차시킨 복수의 유도선을 포설하고 차상 안테나로부터 신호파를 송신한다. 지상에서 수신한 각 대의 극성으로부터 2진코드의 거리가 얻어진다.

· 다상교차유도선

등간격으로 교차한 복수개의 유도선을 거리적으로 위상이 겹치지 않도록 포설한 것이다. 차상으로부터 신호파를 송신하고 치상에서 각 수신레벨을 합성하여 1주기(교차지점)내에서의 연속거리를 검출한다. 1주기이상의 거리는 1주기파형을 카운트하여 검출한다.

(라) 관성 속도계

가속도계를 2중 적분하여 거리를 검출하는 것으로 시스템이상의 검출이나 보조시스템에 사용되고 있다. 중력등의 영향을 제거하고 차량의 진행방향의 가속도를 정확히 검출하기 위한 전단 처리로서 FOG(광파이버자이로)에 의해 차량의 자세각을 검출하는 것과 선로구배를 차상데이터로 기억하는 것 2가지 방식이 있다.

(마) 차축회전

차축의 회전수를 카운트하여 차량의 속도 및 위치를 검지하는 방식이다. 이 방식의 특징은 궤도회로를 사용하지 않고, 무선시스템과 독립적이고, 낮은 비용 등의 이유와 여러 개의 축에 부착이 가능, 적절한 활주·공전의 보정, 다른 보조 시스템의 이용 등의 장점이 있다.

차축 또는 차축과 연동하여 회전하는 주행기어 등 회전을 검출하여 펄스를 발생하는 속도발전기를 사용한다. 종래에 사용된 발전기형태의 것은 5km/h 이하의 속도검출에 문제가 발생되므로 이에 대한 개발 및 시험을 필요로 한다. 여러 개의 축에 속도발전기를 사용하고 이것 중 2축의 각각의 이동거리차(수cm정도)를 감시하는 것과 이상 가·감속도(5-7km/h)를 검출하는 것에 따라 활주공전을 검출한다. 활주공전 발생시의 가감속도를 실제의 차량에 대하여 경험적으로 설정되는 최대최소의 가감속도의 범위에서 보정을 한다.

(바) 도플러 레이다

전자파 등의 파동이 이동체에 명중되어 반사되면 이동체의 속도에 따라서 주파수가 변화한다. 이것이 도플러주파수이고 주파수에 따른 속도 이것을 카운트(적분)하면 이동거리가 검출된다. 일본에서의 시험에 의하면 마이크로파를 사용한 도플러레이더의 거리오차는 0.2%내의 결과를 얻어 비교적 안전한 속도거리가 얻어졌다. 초저속시나 궤간내에 모래가 있을 때 등에는 불안정한 결과가 있지만 차축회전과 조합시키면 이러한 문제는 해결된다. 속도발전기에 비해서 고가 또는 차량에 취부가 곤란한 문제 등이 있다.

(사) 무선전송시간에 의한 검지

차상에서 송신하는 전파를 지상의 2개점에서 수신하여 전달시간에 따른 각각의 지점으로부터 차량까지의 거리를 구하고 그 거리로부터 차량위치를 지상에서 검출한다. 샌프란시스코지하철(BART)에서 사용될 예정이고 거기에서는 GPS를 사용하여 시각과 발신주파수의 동기를 취하는 것으로 하고 있다.

(아) GPS(GLONASS 포함)

전파가 미치지 않는 곳에서는 수신이 되지 않기 때문에 완전한 연속성을 갖추는 것은 무리가 있지만 수신되는 것이 확실한 구간에서는 절대위치가 검출되는 특징을 갖고 있어 차량의 초기위치, 방향, 차량길이 등의 검출에 이용된다. 특히 방향이나 길이 등의 상대검출에 있어서는 단독 GPS에서도 DGPS와 거의 동등한 정도가 얻어진다. 또한 여기에서는 이상 시나 위치검지 시스템의 중대한 고장 시에 취급자가 차량위치를 확인할 수 있다라고 하는 큰 메리트가 있다.

GPS를 적용하기 위해서는 위치검출의 신뢰성이 대단히 높아야 한다는 것이 보증되어야 한다.

(2) 차량 속도/위치검지방법 선정

운행제어시스템에서는 차량의 속도 및 위치를 실시간으로 검지함에 있어 선로에 별도의 장치를 설치하지 않고 단지 절대위치의 보정을 위한 transponder를 설치할 수 있어야 한다.

라. 차량-전력

전력-차량과의 인터페이스는 안전적인 전력공급을 위한 방법이 제시되어야 한다. 기본적으로 검토되고 있는 급속 충전을 위한 방안으로 역에서 접촉식에 의한 전원공급과 무선급전을 통한 전원공급방식이든 간에 필요한 전력을 원활히 공급하기 위한 전력을 수립하여야 한다. 차량접지장치는 차프레임에 설치하여 역사 진입시 플랫홈 하부에 설치된 접지판을 통해 차체를 접지하여 승하차시의 승객을 보호하여야 한다. 과부하 보호장치는 차량에 과부하 발생시 전력변환장치(인버터, 보조전원장치, 공기압축기 기동장치)의 보호계전기 동작으로 작동하게 하고 접지사고 보호장치는 접지위치에 따라 과부하계전기 동작하며, 노면장애물감지장치를 설치하여 장애물 감지시 비상제동 체결하여야 한다.

마. 차량-선로구축물

(1) 주행면의 마찰계수 확보 방안

최급구배 구간에서 차량고장에 의한 견인시 주행면과 고무차륜간에 동적 마찰계수가 0.3이상 필요하므로 이에 대한 검토를 시행하였다. “도로의 구조시설기준에 관한 규정”에서 마찰계수는 최악의 상태를 고려한 값이 다음 표와 같다.

(가) 콘크리트 포장도로의 동 마찰계수

<표 3.4.24> 도로의 구조시설기준에 관한 규정

설계 속도(km/h)	동 마찰계수
120	0.28
100	0.29
80	0.30
70	0.31
60	0.32
50	0.34
40	0.37
30	0.44
20	0.44

<표 3.4.25> 콘크리트 포장도로 마찰계수(일본도로공학)

제동 초속도 / 노면 상태	건조한 노면		젖은 노면	
	48km/h 이하	48km/h 이상	48km/h 이하	48km/h 이상
새로운 장소	0.80～1.00	0.70～0.85	0.50～0.80	0.40～0.75
교통량이 비교적 적은 장소	0.60～0.80	0.60～0.75	0.45～0.70	0.45～0.65
교통량이 많아 노면이 닳아진 장소	0.55～0.75	0.50～0.65	0.45～0.65	0.45～0.60

(나) 한국타이어 기술연구소 자문

한국타이어 기술연구소에서 실제 콘크리트 포장도로에서 측정한 결과로, 노면이 젖은 경우 동 마찰계수는 0.5～0.6이다.

(다) 국내 콘크리트 포장도로의 동 마찰계수 확보 방안

도로의 구조시설기준에 관한 규정에 의한 동 마찰계수 0.31(설계속도 70km/h)까지 만족하기 위한 콘크리트 포장면 처리는 도로공사시방서에 의하면 초벌, 평탄 및 거친면 마무리 작업을 통하여 동 마찰계수를 확보하도록 규정하고 있다. 특히 거친면 마무리는 타이닝(tining)이라는 방법을 통하여 홈의 깊이는 3mm 이상을 표준으로 하고, 홈의 간격은 2～3cm로 하여 충분한 마찰계수를 확보하도록 하고 있다.

(라) 주행면의 동 마찰계수 확보 방안

PC주행로의 고무차륜 접촉면에 대하여 grooving, planning 및 수지계 표면처리 등의 방법을 이용하여 동 마찰계수 0.31(설계속도 70km/h)이하로 관리하여야 할 것으로 보고 있다. PRT 차량주행 시 급제동, 진동, 소음 등을 고려하여 차량에서 필요한 동 마찰계수 0.3을 만족하면서도 주행성이 우수한 PC주행로 표면처리 방법에 대하여 구체적으로 살펴볼 필요가 있다.

(2) 곡선통과 속도

차량이 곡선부를 통과하는 경우 제한속도를 정의하여야 한다.

*)곡선통과 제한속도 도출식

$$V = \alpha \times \sqrt{R} = \text{안전계수} \times \sqrt{(\text{곡선반경})} \qquad (3.4.2)$$

(3) 분기부 통과속도

차량이 분기부를 통과하는 경우 제한속도를 정의하여야 한다.

(4) 오프라인 통과속도

차량이 역에 정차하지 않고 바로 통과(오프라인)하는 경우 운전속도는 기존 정의한 운전속도와 동일하게 하든지 정의를 하여야 한다.

바. 차량-지상 장치간 통신

이동체인 차량과 지상에 고정설치 되어 있는 장치간의 정보전송을 위해서는 전파를 이용한 무선통신시스템의 적용이 필요하다. PRT 차량은 무인으로 운행되므로 차량의 제어정보 전송을 위한 Safety critical 무선통신 인터페이스 및 승객의 안전·보안을 위한 CCTV 등의 안전관련 정보 전송을 위한 Non safety critical 무선통신 인터페이스가 필요하다. 차량의 운전제어 관련 정보는 실시간 및 신뢰성이 보장되어야 하므로 진행중인 철도 전용 주파수의 확보 여부에 따라 무선통신 시스템의 사양 결정이 이루어져야 할 것으로 검토된다. 다만, 차량의 실내 상황을 모니터링 및 승객제공 정보를 위한 무선통신시스템은 제어정보를 위한 무선통신시스템과는 별도의 WLAN 또는 WiBro 등의 고속 무선통신시스템의 적용이 가능하다.

사. 전력-운행제어

전력-차량과의 이동폐색을 적용하여 차량의 운행시격을 짧게 하면서 고밀도운전을 적용하는 경우 전력공급시스템에서 공급되는 전력과 차량의 제동 시 생성되는 에너지간 이동방향의 변환이 기존의 고정폐색에 비해서 매우 많아진다. 동시에 무인으로 차량을 운전하기 때문에 시스템의 고장에 따른 승객의 대피에 따른 안전을 확보해야 하는 등 전력-운행제어간 확보해야 할 인터페이스 내용이 있다. 전력-운행제어간 고려하여야 하는 것은 전력 SCADA와 운행제어시스템간의 통신인터페이스, 차량의 위치정보 제공과 정전시의 안전방안을 들 수 있다.

아. 전력-선로구축물

전력설비가 선로구축물에 취부 설치되는 장치들에 대한 규격과 물리적인 사양에 대하여 정의하고 관리할 필요가 있다. 전력공급방식에 따라 접촉방식의 경우와 무선 접촉방식이 약간의 차이는 있을 수 있으나 설계단계에서부터 긴밀한 협조 하에 진행하여야 한다. 선로의 주행로에 눈이나 물에 의한 동결을 방지하는 목적으로 사용하며, 궤도를 제작할 시 열선(Heating cable)을 삽입하여 궤도 각각을 1 ZONE으로 하는 시스템이 적정한 것으로 보인다. 보수 및 유지관리 측면에서 확실한 관리가 되기 때문이다. 동결이나 결빙 등으로 인한 교통차단 및 인명피해 등을 미연에 방지하기 위하여 사용하며 전자동으로 동작할 수 있도록 한다. 본 설비는 발열선(Snow melting cable)과 눈 감지기(Snow detector), 제어반(Control panel) 등으로 구성되어 있으며, 불필요한 전력낭비를 줄이기 위해 동결방지설비의 동작은 눈 또는 습기가 있고, 바닥 온도가 2℃ 이하일 경우에만 전원이 투입되도록 시설한다.

제5절 PRT 적용가능성 분석

1. 선행연구사례

가. 국내추진현황

국내에서는 PRT 도입을 위한 기술적 측면에서의 기초연구가 지속적으로 진행되고 있으나, 교통계획 측면에서의 PRT 도입을 위한 연구는 미미한 상황이다. 최근 PRT시스템에 대한 기술적인 타당성은 어느 정도 인정받았으나, 하나의 독립된 수단으로서의 역할이 불분명하고 다양한 상황에서의 적용성에 대한 검증이 부족하다는 이유로 도입과정에서 어려움을 겪고 있는 실정이다.

이러한 상황은 국외의 경우도 마찬가지이나 최근 시스템의 안정성과 친환경・지속가능 교통수단으로서의 역할을 인정받아 현재 도입추진 중인 국가가 많으며, 영국 등 일부 국가에서는 이미 공사가 시작되어 PRT 도입이 본격화되고 있다고 볼 수 있다.

(1) PRT의 국내 적용 시 정책적 검토사항연구

도시화의 급속한 발전으로 인하여 교통체증으로 인한 문제가 발생하고 있지만 기존의 교통시스템으로는 해결의 접근이 어려워 신교통 시스템인 PRT가 자동차를 대체할 수 있는 방안으로 제시하였으며 국내 도입의 가능성에 대하여 정책적인 검토 사항을 정성적 측면에서 분석하는 것을 목적으로 한다.

■ PRT의 정의 및 특성

- PRT는 완전무인자동운전인 궤도차량으로 실제 운영상 24시간 이용이 가능하며, 혼자 혹인 작은 그룹으로 독립된 이용이 가능한, 가볍고 슬림한 궤도구조물임
- 또한 고가, 지상 및 지하에 건설이 가능하며, 복선화된 네트워크에서 모든 궤도와 역을 이용할 수 있으며, 역의 위치가 건물 내 또는 지상부에 설치가 가능하므로 연계의 편리함이 있으며 다음과 같은 장점을 가짐
- 출발지에서 목적지까지 환승이 없는 무정차운행
- 수요에 부응하는(demand responsive) 서비스
- 1초~3초의 시격을 가진 배차간격으로 경전철(LRT)과 버스의 중간 규모의 수송량

■ PRT의 기능 및 역할

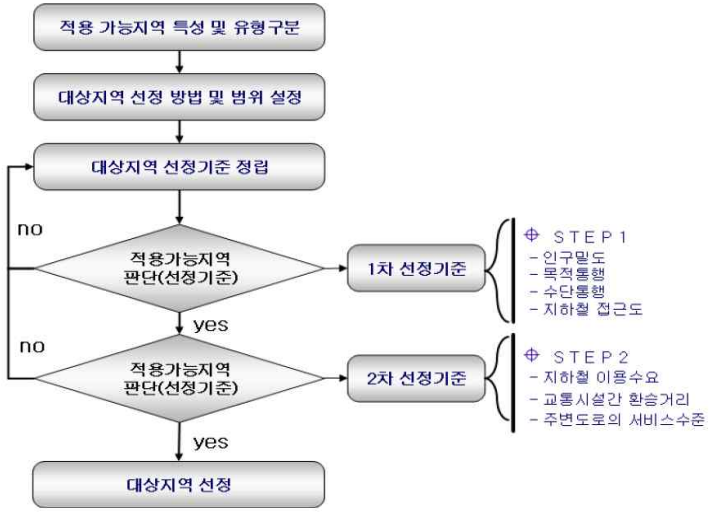
- PRT는 독자적인 궤도시스템을 가지고 자동으로 운행되는 시스템으로 경량전철과 비교하였을 때, 경제성뿐만 아니라 건설비 측면, 에너지효율측면에서 뛰어나므로 기존의 시스템과는 적은 예산이 소요될 것임
- 또한 시스템의 확장성이 용이하기 때문에 향후 수요에 기민하게 대체할 수 있어 효율적인 교통시스템으로 매연과 소음, 진동이 없는 미래지향적이고 친환경적인 교통수단의 기능을 할 것임
- 특히 극심한 도로정체와 대중교통수단의 혜택이 열악한 지역에 효과적
- 기존의 도로기반시설의 확충에만 주력하던 대중교통정책보다는 신개념의 교통수단을 도입하여 도로의 혼잡을 감소
- PRT는 경량전철과 버스의 중간규모로서, 다음과 같은 교통수단으로 활용할 수 있음
  - 대규모 교통시설 간 효율적인 연계
  - 지선교통체계와 간선교통체계의 연결
  - 중심업무지구 내 일정 범위 안에서의 지역적 연계
  - 위락시설 간 연계교통수단

PRT의 운행시 공간적인 범위는 반경 약 5~10km미만일 것으로 판단되며 도보로 지하철을 이용할 수 있는 거리(500m이하)를 감안하였을 때 역간 거리가 200m인 지역순환 노선으로 설정한다면 이용자의 편의를 크게 증진시킬 수 있을 것이다.

- 즉 차로 이동하기에는 적절한 거리지만 주차여건이 좋지 않은 그러한 교통의 사각지대에 설치되는 것이 적정
- 교통유발시설의 차량 집중도를 고려한 주변 교통체계 중심으로 네트워크설계가 가능

PRT 도입 시 요구사항으로는 적용지역 유형별, 통행목적별 요구사항, 물리적인 시설측면에서의 요구사항, 관리 및 운영상의 요구사항 등으로 구분하여 제시하였다.

이러한 내용을 토대로 국내에 PRT를 도입하기 위하여 가능한 지역을 선정하기 위한 방법과 기준을 그림 3.5.1과 같이 정립한다.



<그림 3.5.1> 적용지역 선정 흐름도

또한 PRT 시스템의 특성을 고려해 볼 때, 지역특성과 적용 목적에 따라 적용지역의 유형을 표 3.5.1과 같이 분류한다.

<표 3.5.1> PRT 적용의 유형별 특성

구 분	특 성
A	대규모 교통시설간 연계가 필요한 지역으로 철도역과 버스터미널, 지하철역과 공항터미널 등 교통시설이 밀집지역에서 교통시설간 효율적인 연계가 필요한 유형
B	근거리 지하철 연계를 위한 접근교통수단으로써의 지선교통체계 역할
C	주거지와 쇼핑유발지역 연계 및 대규모 쇼핑유발지역의 단거리 통행하는 승용차 유입이 상대적으로 많은 지역으로 대중교통의 관점에서 차량 밀도를 낮추고 수송력을 증강시킬 수 있는 지역
D	중심업무지역으로서 업무지역내의 일정 범위 안에서 출·퇴근 피크시간에 교통수단을 분산시키고 업무지역간 연계가 필요한 지역
E	관광지 등 위락시설의 이용자와 위락시설간 연계가 필요한 지역

대상지역 선정방법과 범위 설정은 다음과 같다.

- 시스템 특성상 간선(Trunk)체계와 지선(Feeder)체계의 연결성 고려
- 공공성을 중시하는 대중교통체계의 하나의 시스템
- 일정 규모이상의 승·하차인원
- 열악한 접근교통체계
- 목적통행의 다양성
- 낮은 접근교통수단의 통행비율
- 주변 도로의 지체도 및 서비스수준 고려
- 지하철 접근도(서비스수준)를 고려

대상지역의 선정 기준은 사회경제적 측면과 교통(통행)측면으로 크게 나누어 볼 수 있으며 검토항목은 다음 표와 같다.

또한 검토항목을 우선적으로 검토해야 하는 1차적 검토사항과 2차적 검토사항으로 나눈다.

<표 3.5.2> 대상지역 선정 기준

구 분	내 용
사회적 측면	- 인구밀도(총 밀도 사용) - 고용밀도 - 경제활동 - 타 지역과 구별되는 토지이용
교통(통행)측면	- 목적통행(발생, 도착통행량 사용) - 서비스수준(접근 교통서비스의 혜택이 열악한 지역) - 수단분담율 - 지하철 접근도 - 기존 대중교통수단의 활용성 및 효율성 - 연계성 - 도로지체도

※ 진하게 표시한 항목들은 1차적으로 검토하는 사항임

표 3.5.1 유형 B의 지하철 연계를 위한 접근교통수단으로서의 PRT초점을 맞추고 대상지역 선정을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1차 선정검토항목(인구밀도, 목적통행, 수단통행량, 지하철 접근도에 따른 서비스수준, 미연결구간 여부)에 의하여 서울시 강남구, 관악구, 노원구, 서초구, 송파구, 영등포구의 6개 구를 선정
- 2차 선정검토항목(지하철 이용객수, 지하철역과 대중교통수단간의 환승거리, 열악한 버스시설 접근도)에 의하여 신림역, 서울대입구역, 낙성대역, 봉천역, 신대방역, 영등포역, 여의도역, 영등포구청역, 양재역, 남부터미널역, 노원역의 11개 지하철역을 선정

선정된 지하철역 중에 2개 전철역(신대방역, 신림역)과 인접하고 있고 주변 교차로와 인접도로의 서비스수준이 가장 열악한 지역인 난곡지구를 선정한다.

(2) PRT의 적용성 검토 연구(2006)

PRT의 적용성 검토 연구는 PRT가 자동차를 대체할 수 있는 미래형 교통수단으로서 늘어가고 있는 교통수요와 차량, 환경 및 에너지 문제의 해결에도 적절히 대체할 수 있는 획기적인 신 교통시스템이며, 이런 관점에서 그 실효성이 기대되는 시스템으로서 이미 미국, 일본, 독일 등 선진국을 중심으로 기술개발이 진행되어왔으나 국내·외적으로 실제로 운행된 사례가 없는 바 적용성에 관하여 연구가 필요하여 시작한 연구이다.

또한 본 연구는 대중교통시스템 차원에서 PRT 시스템의 개념 및 역할을 정립하고 국내에서의 시스템 적용 가능성과 국내의 개발 및 사업추진 현황, 국내의 적용 가능지역선정, 적절한 공간적 범위 내에서 통행패턴 조사를 통해 PRT의 적용 가능성을 분석하는데 목적을 두고 있으며 주요 연구내용은 다음과 같다.

- PRT 시스템 사업의 정의 및 역할 정립
- PRT 시스템 요구사항 및 규모 산정 지원
- PRT 시스템 사업의 국내·외 사례 검토
- PRT 시스템 적용지역 선정 및 노선 검토
- PRT 시스템 사업추진이 가능한 대상지역의 통행패턴 조사
- 사업추진 가능지역의 수요 및 타당성 검토의 기초 연구

PRT 시스템은 개념 자체가 불분명하여 초창기 시스템에 대한 검증의 부적절함과 기존 교통체계의 변화에 대해서 수동적이었기 때문에 PRT 시스템을 대중화하는데 있어 실패하여 첨단교통협회(Advanced Transit Association)는 PRT 시스템의 개념을 표준화하기 위해 1988년 PRT 시스템에 대한 지침서를 만들었으며 지침서의 기준은 다음과 같다.

- 완전무인자동운전인 궤도차량
- 24시간 이용할 수 있으며, 혼자 혹은 작은 그룹(1~6명)으로 독립된 이용이 가능한 소형차량
- 고가, 지상, 지하에 건설될 수 있는 소형 궤도
- 복선화된 네트워크에서 모든 궤도와 역을 이용할 수 있는 차량
- 출발지에서 목적지까지 환승 없는 무정차(Non-Stop)운행
- 고정된 스케줄보다는 수요에 따라 서비스를 공급하는 시스템

1975년 미국의 모건타운(Morgantown)의 중심상업지구(CBD)와 웨스트버지니아(West Virginia) 대학교를 연결하는 PRT 시스템이 건설되었지만 초기의 과도한 소요재원, 높은 운행비용, 기술과 경험부족으로 어려움이 있었으나, 현재는 문제점을 모두 극복하여 매우 훌륭한 교통수단으로 정착된다.

다른 교통수단에 비하여 PRT 시스템의 장점은 다음과 같다.

- 고객의 요구/수요를 충족시킴 (개인의 사생활 보호, 무정차 서비스 제공)
- 운영비를 절감시키는 자동화된 차량 및 역 제어와 운영비용의 60%를 차지하는 인건비 절감 차원에서 효과적임
- 다른 교통수단에 비해 좌석률(좌석 이용 가능성)이 높음
- 소형궤도이며 중량전철과 경량전철에 비해 궤도관련비용을 줄일 수 있으며, 시각적 측면에서도 바람직함. 특히 우리나라에서는 지하철 건설에 필요한 지하 굴착비용을 절감할 수 있음
- 소형차량이 운행하기 때문에 소규모의 역이 필요하며 역비용도 자동요금징수 방식이 가능함
- 선형유도모터(LIM), 초경량자재, 무료요금징수 등 각 부품과 네트워크를 기술적으로 규격화시키는 것이 가능함
- 수요에 따라 네트워크 확장이 매우 용이하고 수요에 대응한 운용이 가능

PRT 시스템은 지하철보다 규모가 작고 공사비가 상대적으로 저렴하며, 독자적인 궤도시스템을 가지고 자동으로 운행되는 신 교통시스템으로서, 운영비가 저렴하여 건설 및 운영상의 비용을 절감할 수 있고 매연과 소음, 진동이 없는 미래지향적이고 친환경적인 교통수단으로 도로여건과 지리·환경적인 요인을 극복할 수 있어 극심한 도로 정체와 대

중교통수단의 혜택이 열악한 지역에 효과적이다.

지금까지의 교통수단은 주로 광역교통수단, 개인교통수단에 치중되어 개발·보급되어 왔으며, 정책 또한 도로 기반의 시설의 확장에만 주력하여 도로의 혼잡을 감소시킬 만한 현실적인 대안이 되지 못하는 상황에서 PRT 시스템은 대중교통수단의 다변화에 기여할 것으로 보이며, PRT 시스템의 특성상 중량전철과 버스의 중간규모로써 다음과 같은 기능을 가진다.

- 대규모 교통시설 간 효율적인 연계
- 지선교통체계와 간선교통체계의 연결
- 대규모 쇼핑유발지역 연결
- 중심업무지구 내 일정 범위 안에서의 지역적 연계
- 위락시설 간 연계교통수단으로 활용

PRT 시스템은 일반적인 대중교통수단과 마찬가지로 도시 지역의 주요교통수단으로 접근교통수단으로서의 역할을 할 수 있으며, PRT는 승용차를 대체할 수는 없지만 아주 적은 면적의 토지를 이용함으로써 기존의 대중교통수단보다 더 많은 이용자 수요를 창출할 수 있는 대중교통수단으로 에너지 절약, 대기오염 감소, 토지이용의 효율화 측면에서 효과적인 시스템이다.

- 도시 내에 궤도교통수단이 없는 지역은 중심 지구를 중심으로 외곽지역으로 점차 확장시키고, 현재 철도가 운행되는 도시 내의 접근교통수단으로서 PRT 시스템을 적용 가능함
- 뚜렷한 지역적 특색이 없는 지역은 PRT의 도입으로 지역 이미지 개선에 일조

PRT 시스템의 도입 시 요구사항으로는 크게 적용지역의 유형별 요구사항과 통행목적별 요구사항, 물리적 시설 요구사항, 관리 및 운영상의 요구사항, 기타 요구사항으로 구분된다.

적용지역 유형별로는 대규모 교통시설(터미널 등)간 연계가 필요한 지역과 지하철 연계를 위한 접근교통수단, 대규모 쇼핑유발지역, 업무지역 및 캠퍼스 내 연계교통수단, 관광지 등 위락시설(Amusement Park)간 연계가 필요한 지역을 검토한다.

■ 대규모 교통시설(터미널 등)간 연계가 필요한 지역의 요구사항

- 기·종점(터미널에서 터미널)이 단순하고 명확하여 비교적 단조로운 네트워크의 형태가 가능한 시스템
- 버스터미널과 항만 연안터미널과의 연계
- 철도역과 버스터미널과의 연계
- 공항 내 터미널 간 연계교통수단간 운행스케줄의 연속성이 보장되도록 교통수단간 운행계획의 통합 운영이 필요함
- 대규모 교통시설 간 수송체계는 사람 운송체계뿐만 아니라 물류(화물)수송체계를 포함하는 것으로 미국의 MegaRail시스템이 대표적임

■ 지하철 연계를 위한 접근교통수단으로의 요구사항

- 접근교통수단으로서의 소형궤도열차시스템은 대중·준대중 교통수단과 과다한 노선 경쟁관계가 발생할 수 있으므로 수익성이 높은 노선에 대해서는 기존 대중교통수단과의 노선배분 및 조정절차가 필요하며 이용객의 교통수단 전환 가능성에 대한 사전 검토가 필요함

■ 대규모 쇼핑유발지역의 요구사항

- 쇼핑지역의 특성상 활동인구의 교통수단별 분담률이 평균 1~2명의 군집형태가 가장 많고 지하철 이용객과 승용차 접근 이용객이 상대적으로 많은 지역임
- 따라서 대규모 쇼핑센터 및 멀티플렉스의 유기적인 연결이 가능한 곳에 도입되는 것이 바람직함

■ 업무지역, 캠퍼스 내 연계 교통수단의 요구사항

- 유관기관간 집적이 필요한 업무지역에 도입이 가능하고 PRT 시스템의 역사는 건축물 내부에 위치하는 것이 가능하므로 역사의 건설, 운영, 유지관리 주체에 대한 규정이 필요하고 도입 계획 시에는 업무지역 간 통행수요 및 통행행태 파악이 선행되어야 함
- 일례로 미국의 웨스트버지니아 대학교에서 캠퍼스 연계노선으로 운영되고 있으며 현재 모건타운 중심상업지구 및 두 개의 교외 캠퍼스를 일렬로 연결(궤도총길이 8.7마일, 시종착역간 길이 3.6마일)하여 30년간 운행하고 있음

■ 관광지 등 위락시설(Amusement park)간 연계의 요구사항

- PRT 시스템은 관광지와 같이 특정일(공휴일, 연휴, 휴가 등)에 집중되는 통행수요를 처리하기 위해 탄력적인 운영계획의 수립이 요구됨
- 또한 기존 간선교통체계와 위락시설을 연결하는 지선교통체계의 구축이 필요하며 위락시설 내부에서 시설 간 연계교통수단으로서의 순환노선 검토가 요구됨
- 이로 인하여 위락시설 이용객의 이용편의 증진 및 이용객 활성화 증진의 효과가 있으며 준대중교통수단(승차인원이 1~2명 정도의 택시)의 특성을 가질 수 있음
- 관광지 및 위락시설 통행패턴은 도심통행 특성과는 다른 특수한 지역으로 운영 및 유지비용에 대한 검토가 요구되므로 위락시설을 이용하는 이용자의 군집행태에 대한 조사가 선행되어야 하며, 상황별 수송계획이 있어야 함

통행목적별 요구사항으로는 다양한 통행목적(출·퇴근, 등·하교, 쇼핑 등)에 대응하기 위하여 통행목적별로 차별적인 운행계획의 수립이 요구된다.

■ 출·퇴근통행의 요구사항

- 출·퇴근 수단통행 및 환승통행 패턴을 고려한 노선길이 및 네트워크의 규모
- 역사는 이용객의 도보 이동이 가능하도록 반경 400~500m의 영향권 설정
- 통행집중률이 가장 높은 패턴으로 첨두·비첨두시 차량크기의 다양화로 효율적인 운영계획 수립하고 첨두시의 처리 가능한 이용객 수요를 감안하여 역사 규모, 승강대 개수, 차량 출입문 개수·위치 및 플랫폼 길이 산정
- 또한 첨두시 이용객이 밀집되는 것을 감안하여 용량보다 많은 차량이 역사로 진입시에 시스템 전체에 미치는 영향에 대한 분석이 필요하며 본선에서 off-line으로 분기시 차량의 감속, 승·하차시간, 차량의 출발시 가속시간 등을 복합적으로 고려하여 표정속도(40km/h)이상을 유지할 수 있는지에 대한 검토 필요
- 역사 입·출구 주변 보도의 쾌적한 보행권 확보를 위한 각 교통수단의 정류장 및 입·출구의 공간적 분산 배치가 필요함

■ 업무통행의 요구사항

- 단거리 업무 밀집지역간 연계교통수단으로서의 도입이 가능한 시스템으로 역사는 기존 대규모 건물내부로 흡수되어 건설이 가능
- 따라서 업무 지역의 소형궤도열차시스템은 관련 업무시설간 집적이 필요하므로 업무단지 조성 등 업무시설입지를 위한 정책적인 지원 및 유도와 통행행태 분석을 통하여 선정되어야 함

■ 기타통행(쇼핑, 친교・개인, 학원 등)의 요구사항

- 이용목적이 쇼핑인 경우 짐을 들고 있을 경우가 있으므로 차량구조(선반, 짐을 실을 수 있는 공간, 유모차 적재 등)의 고려
- 쇼핑통행을 위한 PRT 시스템으로의 수단전환을 유도하기 위해서는 최단거리 환승경로가 필요하며 이동편의시설(무빙워크, 승강기, 에스컬레이터 등)이 함께 설치
- 또한 쇼핑, 친교・개인, 학원 등의 통행패턴에 따른 이용객의 교통수단 전환 가능성에 대한 사전조사도 필요

물리적 시설 요구사항으로는 차량, 궤도(Guideway), 지지기둥, 역사, 이동편의시설에 대한 검토가 필요하다.

■ PRT 시스템의 역사의 요구사항

- PRT의 역사는 주행로 특성, 차량서비스의 빈도 및 운행계획, 차량의 종류, 길이 및 출입문 형태 등이 반영되어 결정되어야 하며 이용객의 안전을 고려하여 단순하면서도 일관성 있는 형태를 유지
- 차량의 고장 시 고장차량 유인 및 정비 공간 확보에 대한 고려가 필요
- 승강대의 개수, 차량 출입문 개수 및 방향에 따라 역사 형태 및 용량이 좌우되므로 승강대와 차량 출입문이 역 용량과 전체 시스템에 미치는 영향에 대한 분석
- 이용수요를 고려한 역사 규모 산정이 이루어져야 할 것이며 설치 위치에 따라 고가역사 정거장, 건물 내 역사 정거장, 노면 역사 정거장으로 분류하여 검토

■ 지지기둥 설치 위치에 대한 요구사항

- 지지기둥간의 간격과 도로선형을 고려
- 도시경관 및 환경적 측면을 고려하여 설치가 필요
- 지지기둥이 보도에 설치될 경우 안정성 및 보도의 보행서비스수준을 고려하여 설치

본 연구에서는 지하철 연계를 위한 접근교통수단으로서의 역할을 수행한다는 가정을 하여 소형궤도열차 적용가능지역의 선정기준을 다음과 같이 정립한다.

- 시스템 특성상 간선(Trunk)체계와 지선(Feeder)체계의 연결성 고려
- 공공성을 중시하는 대중교통체계 내 하나의 시스템
- 일정 규모 이상의 승・하차 인원이 존재해야 함

- 열악한 접근교통체계
- 목적통행의 다양성
- 낮은 접근교통수간의 통행비율
- 주변 도로의 지체도 및 서비스수준을 고려
- 지하철 접근도(서비스수준)를 고려

또한 적용 가능지역 검토 기준은 인문・사회적 요소와 교통(통행)요소로 나누어 인구밀도 및 고용밀도, 경제활동, 타 지역과 구별되는 토지이용 등이 중요한 비중을 차지하여, 교통(통행)적인 측면에서는 기존 대중교통수단의 활용성 및 효율성, 연계성, 수단분담률, 도로지체도, 지하철 접근도 등이 고려되어야 한다.

- 인구밀도는 경제적 자립도, 인구, 면적, 산업별 종사자가 해당되며 총밀도(총 면적 대비 인구수)를 사용함
- 목적통행은 지역민의 사회활동의 흐름을 파악할 수 있는 지표로 통행수단을 결정하며 통행목적이 다양할수록 통행발생량은 많아지고 교통수단선택의 기회도 많아짐
- 수단통행은 교통수단의 분담률을 알 수 있는 지표로써 승용차보다 대중교통 수단분담률이 높은 지역을 우선 고려하여 버스노선의 중첩도와 지체도, 환승여건, 이용자의 쾌적성 등을 반영하여 다른 선정기준과 함께 상호 연계하여 판단이 필요
- 지하철 접근도는 각 지역별로 지하철 역사 개소수를 거주인구 명수로 나누어 분석하여 지하철 접근도가 높은 지역을 우선 고려대상으로 선정하되 타 기준들과 총체적으로 판단

검토기준을 고려하여 대상지역의 통행패턴 조사는 현장조사와 문헌조사를 통해 이루어졌으며, 세부항목으로는 교통량조사, 통행특성조사 및 SP조사를 실시한다.

마지막으로 대상지역 적용성 분석을 위하여 교통축별로 대중교통수요를 예측하여 축중심선을 기준으로 일정간격 500m 내에 있는 인구와 종사자수를 이용하였다.

- 이를 수행하기 위하여 지리정보시스템(GIS)의 영향권 분석기능(Buffering)을 활용

나. 국외추진현황

국외에서의 PRT의 기술개발은 미국에서 1950년 중반 이후부터 시작되었다.

- 1953년도에 도시 계획가인 Donn Fichter에 의하여 처음 제안됨
- 1964년에는 Urban Mass Transportation Act가 연속적인 연구를 계속적으로 하였음
- 1970년에는 U.S 교통부서는 Mogantown에 있는 West Virginia 대학에 혼잡한 도시를 지나 세 부분으로 분리된 캠퍼스를 연결하는 첫 PRT를 설치하고 1972년 이후로 작동되었으며 이 후 20년 동안 PRT는 교착상태에 빠짐
- 1990년대 도시가 성장되고 기술이 진보하면서 Chicago Regional Transportation Authority(RTA) 회장인 Gayle Franzen에 의하여 PRT 시스템이 다시 활발해지기 시작함
- 2001~2005년까지에는 PRT연구에 대하여 3.5만 달러를 European Commission Directorate-General Research의 지원으로 항만 재개발 구역에 PRT가 호의적으로 평가받았지만 입증된 시설이 부족하여 설치하지는 않았음

현재 미국, 영국, 스웨덴 등 선진국에서는 PRT가 친환경적인 신교통수단으로 인정받아 여러 각국의 PRT개발사들은 PRT도입을 활발히 추진 중에 있다.

- PRT개발사들은 대표적으로 ULTra, 2getther, Cabintaxi, Skyweb Express(Taxi2000) 등이 있음

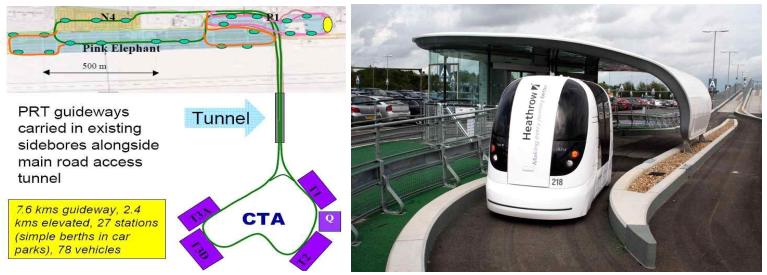
본 절에서는 영국 ULTra의 Heathrow Airport, 네덜란드 2getthere의 UAE Masdar City, 독일 Cabintaxi의 Hamburg Project, 미국 Skyweb Express의 Taxi2000의 계획 및 운영사례와 건설로 인한 효과 등을 살펴본다.

(1) ULTra (Heathrow Airport, London)

영국 ULTra社는 세계 최초의 PRT시스템을 영국 런던 히드로 공항에 도입하여 제5터미널 주차장과 터미널간 연결하여 현재(2011년 5월) 시범운영중에 있다.

- 기존 히드로 공항을 이용하는 대부분의 승객들은 큰 짐을 소유하고 있으며 셔틀버스를 이용하여 이동하고 있었으나 이는 도로의 혼잡을 증가시켜 교통문제를 야기시킴

- 따라서 BAA(British Airports Authority)는 히드로 공항의 교통문제를 해결하고자 PRT시스템을 도입하였음
- PRT시스템은 기다릴 필요 없이 곧바로 탑승하여 승객이 원하는 목적지까지 무정차 운행을 함으로 기존의 셔틀버스와 비교하여 큰 시간적 효과와 운영비용의 절감효과를 얻을 수 있음(표 3.5.3 참조)



<그림 3.5.2> 영국 히드로 공항의 PRT노선 및 차량

<표 3.5.3> ULTra PRT와 기존 셔틀버스 사이의 총 소요시간 비교

구분	수요(인/일)	셔틀버스 소요시간(분)	PRT 소요시간(분)	절감시간(분)	절감효과(%)
Pink Elephant	3,590	16.00	6.80	9.20	58
제1주차장	532	6.40	4.00	2.40	38
직원용 제1,2주차장	3,014	18.00	6.90	11.10	62
직원용 제4주차장	2,034	15.00	5.00	10.00	67
합계 및 평균	9,170	13.85	5.68	8.17	59

※ 도보시간과 대기시간을 포함한 값임
※ 자료 : ULTra 홈페이지 (http://www.ultraprt.com/applications/system-studies)

ULTra PRT시스템은 히드로 공항의 교통문제를 해결하는 우수한 교통수단으로 입증된다.

- APM(Automated People Mover Arrivals)과 비교하였을 때, 순 현재가치(할인율 6%, 30년)가 73,000,000파운드 절감
- 운영비용의 40%절감(연간 700,000파운드)
- 승객들의 시간을 59%절약(연간 5,000,000파운드)
- 친환경적인 시스템으로 가스 배출량 감소(일산화탄소 2.9톤, 휘발성 유기화합물 0.9톤, 질소산화물 12.9톤, 미세먼지 1.7톤, 이산화탄소 311톤)
- 효율적인 공간 활용 및 소음 저감

연구결과 주차장 및 터미널의 PRT 노선연결로 다음과 같은 결과를 도출하였다.

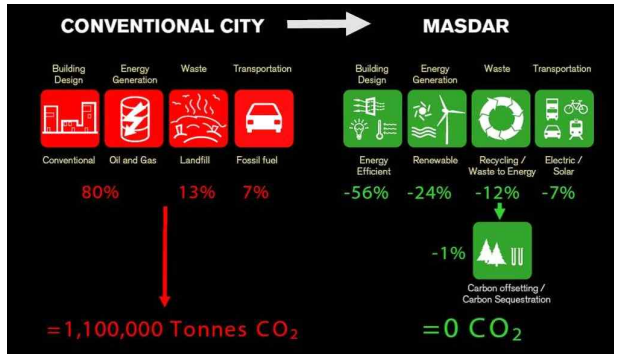
- 주차장 이용자들에게 보다 나은 서비스를 제공
- 궁극적으로 제 1, 2, 3터미널 내 어디에서라도 적절한 PRT 서비스를 제공할 수 있도록 정거장을 설치
- 그동안 혼잡하고 복잡하던 CTA지역을 간단하게 통합
- 저층 혹은 고층의 소규모 인프라 서비스를 허용
- APM 등 다른 공항 내부 교통수단의 설치 및 시공에 있어 이용자들에게 불편을 적게 미침
- 시공 전 운행 시뮬레이션 결과를 실제로 실행

(2) 2getthere (Masdar City, UAE)

네덜란드의 2getthere社는 2001년에 설립되어 PRT와 30명의 승객들을 운반 할 수 있는 GRT를 제공하였다.

또한 최근 세계최초의 탄소제로도시를 목표로 하는 아랍에미레이트연방의 Masdar도시(서비스지역)의 교통수단으로 PRT를 적용하여 현재(2011년 5월) 시범운영 중에 있다.

- Masdar도시는 온실가스와 쓰레기, 승용차가 없는 3無도시를 목표로 하고 있으며 모든 에너지는 화석연료를 쓰지 않고, 재생 에너지만 사용
- Masdar도시 내에서는 승용차를 이용할 수 없으며 승용차 대신 LRT, PRT 등을 이용하여 7%의 탄소를 감축



<그림 3.5.3> Masdar도시의 탄소 감축 계획

Masdar도시의 교통수단은 탄소를 배출하는 승용차는 이용하지 않으며 도시 내부에 PRT를 이용, 시외교통은 LRT를 이용하여 Masdar와 아부다비 국제공항 및 아부다비 도심을 연결할 계획이다.(그림 3.5.4 참조)

- Masdar도시 내에는 6개의 LRT정거장이 설치
- 도시 내부의 간선도로 폭은 무조건 10m이내
- 타 지역에서 승용차로 방문할 경우에는 시경계에 건설된 9개의 환승주차장을 이용하여 LRT 및 PRT의 교통수단으로 환승



<그림 3.5.4> Masdar 도시의 교통계획

PRT시스템의 차량은 대당 4~6명이 탑승하고, 승강장은 85개, 차량 대수는 3,000대, 역간 거리는 150m로 계획한다.

- 또한 PRT 운영과 더불어 1.6톤의 화물을 처리할 수 있는 화물철도시스템(FRT)를 동시에 운영하여 화물수송의 효율성을 제고
- 초기의 생산물량은 13대(PRT 일반형 7대, 고급형 3대, FRT 3대)임



<그림 3.5.5> 2getthere社의 PRT 및 LRT 차량

2011년 5월 현재 제1단계 시범사업 종료와 함께 PRT가 시범 운영되고 있으며, 개요는 다음과 같다.

- 첨두시 용량 : 500인/시
- 운영개요 : 24시간 / 네트워크형 / 무정차운행
- 차량모델 : Cyber Cab(2세대)
- 구동방식 : 리튬이온축전지
- 운행시스템 : TOMS(Total Operation Management System)
- 노선연장 : 편도 1.2km

(3) Cabintaxi (Hamburg Project)

1973년부터 1979년까지 독일 Hagen 지방에 대규모 시험선로를 설치·운영하였다. 특히 1975년부터 1978년까지 차량 당 40만 마일의 거리를 주행 시험하였다. 그 중, 1977년의 7,500시간의 차량 내구성 실험, 이듬해 10,000시간 차량 내구성 실험을 실시한바 있으며 실제 영업 운전 시, 24시간 운영 수준 이상의 능력을 입증하였다.

- 하지만 독일정부는 이러한 PRT 개발 노력이 성공적이었다고 자평하고 상용화 단계로의 준비를 시작하였으나, 1979년 함부르크 프로젝트의 종료와 함께 예산상의 이유로 현장의 업체는 철수 하였고 독일의 PRT 계획은 수면 아래로 가라앉게 되었음

Cabintaxi 연구 개발사업은 독일 과학기술연구부가 85%를 지원하였다. 함부르크 교통국(Hamburg Hochbahn AG)은 1977년 12인승 PRT차량을 시범제작하고 이듬해 사용승인을 허가했다. 시범노선의 총 연장은 1.2마일, 향후 20마일의 노선과 180대의 차량을 제작할 것으로 계획하였지만 예산상의 제약으로 중단되었다. 4년 후, 해당 기업은 현장에서 완전 철수하였으며, 이 프로젝트에 대한 권리는 Cabintaxi 미국법인이 취득하여 보다 업데이트 된 기술을 기반으로 민간부문 운영에 주력하게 되었다. 2009년 Cabintaxi의 경영은 제조업자들과 건설업자들의 지지와 새로운 기술사용으로 디자인을 업데이트 하여 투자자금을 모으고, 파트너쉽을 구축 중이다.

(4) Skyweb Express(Taxi 2000)

Taxi 2000은 J.Edward Anderson에 의해 개발되었고, Taxi 2000社는 1981~1993년간 운영되었으나, 1993년에 설계권이 Raytheon社로 매각되었다. 이 후 Raytheon社는 자사의 디자인 개념을 결합하여 PRT 2000으로 발전시켰으며, 1999년 Raytheon社도 PRT 2000을 종료시켰고 더 이상 프로젝트를 진행하지 못했다. Taxi 2000社는 Raytheon社로부터 권리를 다시 샀고 PRT 2000의 개념을 발전시키고 있는 중이며 “Skyweb Express"라 명칭이 변경되었다. 2003년 후반 Taxi 2000社는 PRT시스템의 개발과 시험 프로그램을 위한 자본을 유치하여 활발히 진행 중에 있다.

Taxi 2000社의 Skyweb Express 실행가능성 검토의 최종보고서에서는 수요분석과 시스템 요구사항, 재무분석 등에 대한 검토를 수행한다. 수요분석은 이용자 분석 섹션 프로세스를 사용한 수요예측모형을 주로 이용한다. EMME/2를 사용하여 개발된 도시 지역의 통행 모형을 기반으로 하며, 지역의 네트워크 영역의 정의와 구성 및 통행 수요분석을 한다.

통행 수단의 방식 등 통행 수요 예측의 과정은 다음과 같다.

- 연구의 공간적 범위는 광범위한 네트워크를 가진 도시를 대상으로 하며, 이 네트워크 영역의 정의와 구성 및 통행 수요에 대함
- Zone 내부의 통행 O/D와 통행 경로 및 수단을 사용함
- Zone 대 Zone의 통행 경로 및 수단을 사용함
- 통행수단의 조건 및 수요를 파악함
- 대중교통 노선 네트워크의 양과 그에 따르는 제약을 측정함
- 해결점이 도출되면 각 통행 수단에 대한 소요시간을 최적화함
- 예측 효율성 혹은 이용자의 비율, 통행수단 각각에 대한 운임과 같은 변수의 측정 및 변수 변화에 따른 이용자의 민감도를 측정함

통행할당영역(TAZ)를 통하여 PRT 이용자 분석 데이터를 만들어 사용한다.

- TAZ은 PRT의 이용자 분석 DATA를 만들기 위함
- 이 DATA는 도시의 미래 성장지표에 따른 성장 및 발전의 예상 수치 자료임
- 주로 인구의 분포와 인구 활동영역에 대한 예측내역의 구성되어 있음
- TAZ의 각 영역은 통행수요분석에서 개인단위로 처리됨
- 도시의 면적에서 비롯한 통행 수요 네트워크에 대하여 총 981개의 고유 TAZ가 구성되어 있음

통행생성모형의 목적은 TAZ 내부의 O/D 수요를 예측하는 것이다.

- 일일 3회(아침, 낮, 저녁) 첨두시간의 수요를 예측하고, TAZ 내부의 O/D의 수요를 예측

통행분배모형은 각 특정 Zone에서 통행의 발생과 종료를 측정하기 위한 O/D를 추정함으로써 통행 생성 산출을 이용한다.

- 통행의 시작 번호는 각 Zone에서 종료함
- 통행의 시작부터 끝까지 일련의 흐름을 예상함
- 통행 시간과 출발지와 목적지 Zone 사이에 목적 매트릭스를 만드는 방법을 추정함

수단선택모형의 목적은 다른 수단에 대한 이용자의 공유를 정의하는 것이다.

- 현재 통용되고 있는 도시 통행모형은 수단선택모형에 대하여 신뢰성이 결여되어 있음
- 이러한 점을 인식, 도시통행모형에 신뢰할 수 있는 수단 선택을 추가하는 것을 기본으로 하는 방안을 모색 중임

2020년 대중교통 수송 분담률은 간단한 접근을 기반으로 평가되고 있으며, 다른 영역의 대중교통의 고정된 지분을 할당한다.

- 가장 큰 특징은 특정수단의 특성 및 중요 변수가 반영되지 않는다는 것임
- 수단선택모형은 이러한 특성 및 중요 변수(통행시간, 비용, 인구 통계 등)를 반영함

수단선택모형의 변수를 기반으로 자동차와 PRT 양 쪽의 활용 가능성을 예상해 볼 수 있다.

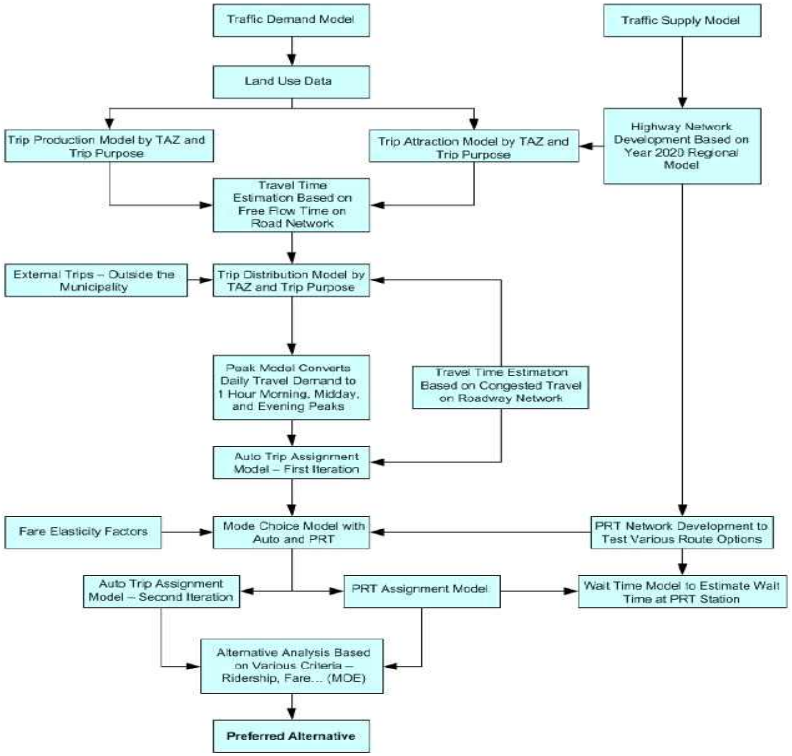
수단선택모형 내에서의 통행할당은 평형 알고리즘 기반으로 통행루트를 바꿈으로서 통행자의 통행시간을 개선하는 해결책에 수렴한다.

- PRT의 통행은 그에 상응하는 네트워크 및 고가궤도에 할당됨
- PRT는 통행의 흐름이나 혼잡에 대한 제약을 받지 않기 때문에 항상 일정한 속도의 운전이 가능함
- 다양한 선택대안을 찾아 보다 체계적인 접근법을 통하여 지역의 가상 PRT 노선을 정하고 무한한 PRT차량의 가용성을 제고함

효과척도(MOE)를 사용하여 시나리오의 일련의 개발 절차에 따라 전반적인 교통 시스템에 PRT의 성능을 시뮬레이션 할 수 있었다.

- 경로가 선택되고, 수요모형 이전 결과의 신뢰성을 보장함
- 통행운임 변경 함수로 수요의 탄력성을 평가함

수요예측과정의 전체적인 흐름도를 보면 그림 3.5.6과 같다.



<그림 3.5.6> Ridership Analysis Flowchart

PRT 운임 산정방식의 주요 요소로는 보다 짧은 대기시간, 이용자 접근거리에 대한 가중적 요소, 그리고 옵션을 포함한 균일 운임 시스템과 거리비례 운임제 등이 있다.

PRT의 운임 및 수입의 분석은 PRT의 통행 수요와 초기 이용자 예측을 기반으로 한다.

- 특히 2020년 해당 O-D의 아침 첨두 통행량과 정거장 접근 시간, 주차비용 및 PRT 운임을 중심으로 함
- 제시된 각 분석 항목별 변수는 이용자의 감도의 개별적 요인 뿐 만 아닌, 다른 외적 요인 역시 감안할 필요가 있음
- 아침 첨두통행량 예측은 일 단위 및 연 단위 설문조사 기반의 자료를 통하여 정함
- 일간 수익은 일일통행량과 관련하여 운임을 예측하는데 사용함

- 도시의 통행수요모형에서는 오전 7시 30분부터 8시 30분까지의 첨두통행량을 평가함
- 아침 첨두시간의 PRT 통행량 및 이용자 수와 일 단위 및 연 단위 통행량은 수익예측의 필수적인 구성 요소임

해당 도시의 교외 및 중심가는 모두 대중교통 없이 자가용 승용차 및 택시에 의존하고 있다.

- 이용자들은 자가용 승용차 이용에 연연하고 있는 실정임
- Skyweb Express의 탁월한 접근성을 무기로 대중교통의 공공성과 개인 이용자들의 이용 접근성을 모두 충족하는 가장 최선의 대안이 될 것으로 전망함
- 향후 2020년까지 총 통행 수요의 5%를 분담하는 것을 목표로 하고 있음

재무 설계는 엑셀 프로그램을 사용하여 새로운 환경에 따른 각종 시나리오의 변화에 대한 대처와 조정이 가능하다.

- 입력자료는 Taxi2000의 타당성 연구결과를 사용
- 투자 모형은 모든 통화를 기준으로 설계할 수 있도록 마련되어 있으며, 선택 역시 가능함
- 시나리오에 따른 자세한 정보와 지출 및 운영, 유지보수에 관한 재무적 계산이 자동으로 처리됨

타당성 연구에서 제시된 운임 민감도 모형의 비용은 km당 15.3~19.7달러이다.

- 다른 교통수단과는 달리 상대적으로 통행의 증분이 용이하기 때문에 km당 비용에 따른 마진을 낮게 상정함

운영 및 유지관리 비용의 산출은 Skyweb Express의 손익, 운영비용, 유지보수의 추정에 따른다.

- 추정은 프로젝트의 현금흐름의 요건과 운영 통계를 통하여 정함
- 운영 및 유지관리 지출 시나리오 역시 모든 통화를 기준으로 설계가 가능하며, 선택 역시 가능함

타당성 연구에서 운임의 민감도 모형에서는 0.7~0.9달러/통행량, 감가상각비를 포함한 운영 및 유지보수비용의 민감도 모형은 1.5~2.35달러/통행량을 제시하고 있다.

다. 시사점

PRT 시스템의 국내 도입에 대해 기술적 검토는 어느 정도 완료된 상태지만 수요, 경제성 및 재무성 분석방법과 기준에 대한 세부적인 지침 또는 연구는 현재 부재한 상황이다.

또한, 현 투자평가체계 하에서 PRT 시스템을 국내에 도입하기 위해서는 예비타당성조사와 타당성 평가 등이 이루어져야 한다.

특히, 타당성 평가를 수행하기 위해서는 우선 예비타당성 조사를 통과해야 하는데, 예비타당성조사는 대규모 개발사업에 대한 개괄식인 조사를 통해 경제성분석, 정책적분석 등 사업의 타당성을 검증하는 제도로서 대형 신규사업의 신중한 착수를 통하여 재정의 효율성을 높이는 것을 목적으로 하며, 그 대상은 다음과 같다.

- 총 사업비가 500억원 이상인 사업
- 국가의 재정지원규모가 300억원 이상인 사업

예비타당성조사 대상이 되기 위해서는 다음과 같은 조건을 충족시켜야 한다.

- 사업성경상 예비타당성조사 대상이라도 사업계획이 어느 정도 구체화 되어 있어야 함
- 관련분야 정부 중장기 계획상의 우선순위를 감안하여 사업추진의 시급성이 인정된 사업을 우선적으로 선정

국내 PRT 도입을 위해서는 이러한 예비타당성 조사와 타당성 평가를 거쳐야 하나, PRT수단특성을 감안해 볼 때, 기존 O/D체계 하에서는 PRT특성에 맞는 수요추정모형 즉, 존 체계 정립과 수단분담모형에 대한 연구는 아직 제대로 수행되지 못하고 있다.

O/D체계를 바꾸려면, 기존 행정동 중심의 Zone체계를 보다 세부적인 구역 단위 즉, 통·반 단위의 Zone체계로 개편할 필요가 있으며, 이러한 통·반 Zone별 내부통행량을 산정하여 수요추정모형을 구축하는 방안이 필요하다.

- 세부 Zone O/D의 추정은 기존자료가 있을 경우, 이를 이용하여 Zone 세분화 작업에 활용
- O/D의 총량은 KTDB와의 일관성을 확보함과 동시에 검토내용 역시 보고서에 기술할 필요가 있음
- 세부 Zone O/D의 기존 자료가 없을 경우, 세부 Zone별 통행발생량을 산출한 다음 통행분포모형을 이용하여 세부 Zone O/D를 구축함
- 각 세부 Zone별 통행발생량은 해당 존의 사회경제지표를 원단위법이나 회귀분석법 등을 적용하여 산출함
- 산출된 세부 Zone별 통행발생량은 프라타모형, 중력모형 등의 통행분포모형을 적용하여 각각의 세부 Zone 내부로 분포시키는 방법을 제시하여야 함

Taxi2000의 연구에서도 언급하였듯이, PRT의 경우 새로운 교통수단으로 장래 PRT 도입 시 이용수요를 산정하기 위해서는 기존 수단으로부터의 전환량을 계산해야 한다.

- 이를 위해서는 SP조사를 통한 수단분담모형 구축이 필요하나, 아직까지 PRT수단에 대한 효용함수 및 관련 파라미터에 대한 조사 및 분석은 부재한 상황

이에 따라 본 연구에서는 교통수요분석을 위해 필요한 존 세분화방법 및 수단분담모형 구축에 대해 구체적으로 살펴보도록 한다.

- 하지만 존 세분화 구축을 위해서는 통, 반, Block 단위의 인구, 자동차보유대수 등의 사회경제지표가 필요하나 현실적으로 취득이 어려움[7)]
- 이에 따라 현재 적용되고 있는 존 세분화 방법 및 수단분담모형을 토대로 PRT수단 도입을 위한 적용성 검토를 수행

이 외에도 PRT는 완전 무인화시스템이며, 건설 및 운영비용이 타 교통수단에 비하여 경제적이다.

- 하지만 건설 및 운영비용의 각 항목별 원단위가 부재한 상태임
- 따라서 PRT 도입을 위한 경제성 분석 시 공사비, 운영비, 차량구입비 등 비용산정 기준에 대한 연구가 필요하며, 이에 본 연구에서는 유사한 교통시스템과의 적정성을 감안하여 그 기준을 제시하도록 함

7) 통, 반 수준의 자료는 동 단위로 파악하고 있으나, 현재 DB구축이 제대로 되어 있지 않아 별도의 조사가 필요

2. PRT 수요분석 방법론 개발

가. 존(zone)세분화 분석기준 개발

(1) 영향권 설정

(가) 영향권의 정의

영향권은 사업의 시행으로 인하여 '현저한 교통패턴의 변화'가 발생하여 사업의 타당성을 분석하는데 포함되어야 할 공간적 범위를 의미한다. 특히, PRT시스템의 경우는 빈번한 단거리 통행발생지역, 이용자의 밀도 변화가 심한 통행지역의 적용가능하기 때문에 기존의 존체계하에서는 분석이 어려움이 있다.

영향권을 너무 작게 설정할 경우 분석에 소요되는 기간과 비용 등을 단축할 수는 있겠으나, 사업의 기대효과를 충분히 살펴볼 수 없을 것인 반면, 영향권을 넓힐수록 사업의 시행으로 인한 파급효과가 미치는 범위를 보다 광범위하게 살펴볼 수는 있으나, 기초자료의 구축이나 정산 등 분석에 소요되는 기간과 비용이 커질 수밖에 없다. 이와 같이 영향권과 분석에 소요되는 비용 간에는 서로 Trade-off 관계가 있으므로, 사업의 유형과 특성을 감안하여 적정한 수준에서 영향권을 설정해야 한다.

(나) 기존연구에서의 영향권 정의

① Modelling Transport(Ortuzar, 1994)

영향권(Study Area)은 기본적으로 분석하고자 하는 내용과 목적, 범위, 통행 특성 등을 고려하여 설정하여야 하며, 영향권 분석시 기본적으로 다음과 같은 요소들이 고려되어야 한다.

- 영향권 내에서 대부분의 발생 도착량이 처리되어야 함
- 영향권은 주된 변화를 분석해 보고자 하는 대상지역 보다는 넓어야 함
- 영향권 외부는 External Zone으로 처리함

② Urban Transportation Planning(Michael D. Meyer, 2001)

영향권(System Boundary) 설정은 교통계획에 있어 첫 번째 단계의 작업이며, 분석의 범위나 문제에 대한 정의 등에 따라 상이하다. 영향권 내의 기술적 분석수준은 통상 간단하게 표현되는 영향권 바깥지역보다 훨씬 자세하게 묘사되어야 하며, 영향권은 시스템 내의 효과나 영향을 살펴보는데 있어 중요한 요소이므로, 초기에는 보다 넓게 잡는 것이

바람직하다. 그리고, 영향권 외부는 External Zone으로 처리한다.

③ TAM(영국, 1991년)

영향권(Study Area)의 정의는 "사업시행으로 인해 링크의 교통에 주된 영향이 생길 것으로 예상되는 지역"이며, 영향권 내부는 충분한 정밀도를 갖고 분석을 수행해야 하므로, 영향권 범위 설정은 분석에 소요되는 시간과 비용에 큰 영향을 미치는 요소이다.

영향권은 크게 다음과 같은 두 가지 기준에 의해 설정한다.

- 분석가의 전문가적 판단에 따라 : 대상사업의 특성, 주변지형 여건, 장래 개발계획, 분석범위의 확대에 따른 추가적 비용소요 등 고려
- 사업시행 전후의 통행배정 결과를 비교하여 : 링크 교통량이 10,000vpd 이하인 곳에서는 200vpd 정도 변화하는 곳, 링크 교통량이 10,000vpd 이상인 곳에서는 2%정도 변화하는 곳

영향권 설정 후 NETTLE 프로그램 등을 이용하여 National Network 중 영향권에 해당되는 부분의 자료를 추출하고 영향권 이외의 지역들은 외부존(External Zone) 처리한다.

④ 국내 예비타당성조사 표준지침

국내 예비타당성조사 표준지침에서는 영향권을 직접 영향권과 간접 영향권으로 구분한다.

- 직접 영향권 : 교통존 세분화 등 상세한 O/D 및 네트워크를 구축하는 지역
- 간접 영향권 : 직접영향권을 포함하여 편익산정에 포함되는 지역

영향권을 설정하는 기준은 크게 3가지 지표를 제시하고 있으며, 분석가의 전문가적인 판단을 통해 범위를 설정하도록 제시하고 있다.

- 사업노선이 위치한 교통존의 통행량(O/D) 분포 비율
- 사업시행으로 인한 교통량의 변화량
- 사업시행으로 인한 교통량의 변화율

<표 3.5.4> 현행 지침에서 제시하는 영향권 구분

구 분		대상 지역	비 고
영향권	직접영향권	○○시, △△군 등	교통존 세분화 등 상세한 O/D 및 네트워크 구축지역, 편익 산정 포함 지역
	간접영향권	○○시, △△군 등	편익 산정 포함 지역, 직접영향권을 포함
분석 대상권		○○시, △△군 등	교통수요 분석모형의 전체 범위

(다) PRT 수요분석을 위한 영향권 설정방향

영향권의 설정은 교통수요 및 B/C 분석에 직접적인 영향을 미치는 요소이며, 영향권과 분석에 소요되는 시간 및 비용 간에는 서로 Trade-off 관계가 있으므로 적정한 수준에서 분석의 공간적 범위를 한정지을 필요가 있다.

- 직접영향권 : PRT 분석을 위해서는 사업노선의 시 종점을 포함해 개별 역사의 역세권 지역
- 간접영향권 : 직접영향권내 통행량의 분포비율이나 수단 전환량의 비율 등을 토대로 간접영향권을 설정

(2) 교통존 체계설정 및 존 세분화

(가) 교통존의 정의 및 특성

교통존은 교통수요 분석 시 개별 가구단위(혹은 개인)의 통행패턴을 처리 가능한 수준으로 집합화하기 위해 사용된다. 이때 교통존의 개수와 각 교통존의 크기를 어떻게 결정할지가 관건이 되는데, 동일한 면적에서 교통존의 개수를 많이 할수록 각 교통존별 크기는 작아지기 마련이다.

교통존을 보다 상세하게 구축할수록 정확성은 높아지겠지만, 이를 위해 투입해야할 비용과 시간 또한 매우 높아지기 마련이므로, 교통존 체계 또한 상세성과 분석에 소요되는 시간 및 비용 간에는 서로 Trade-off 관계가 존재한다. 따라서, 분석하고자 하는 목적에 맞춰 상세성(Detail)을 결정할 필요가 있는데, 과연 어느 정도까지 상세하게 구축하는가 하는 점은 매우 어려운 문제이다.

Ortuzar(1994)에 따르면 교통존체계 설정시 고려해야 할 요소로 다음과 같은 항목들을 제시하고 있다.

- 교통존은 집합화에 의한 오차를 고려해 일정 수준 이상의 크기를 가져야 함.
- 교통존은 자료수집의 용이성 등을 위해 가급적이면 행정적인 체계에 상응하도록 구축함
- 교통존은 동일 존내에서는 인구의 구성, 토지이용 등 동질성을 가져야 함
- 교통존은 센트로이드 커넥터의 연결을 쉽게 할 수 있도록 형상을 가지는 것이 좋으며, 모두 크기가 같아야 할 필요는 없음

(나) 현행 기초자료(국가교통DB)의 교통존 체계

교통수요 분석을 위해서는 기종점 통행량(O/D), 네트워크 등의 기초자료가 필요한데, 이는 분석가가 직접 구축하거나 기존에 구축된 자료를 사용할 수 있다. 1998년에 전국단위의 국가교통조사를 시행하기 이전에는 개별 사업마다 조사를 실시함에 따라 조사중복에 따른 예산낭비를 초래하였고, 조사대상 및 방법 등이 상이하여 자료호환과 신뢰성에 대한 문제가 제기되어 왔다. 따라서, 일관성 있는 시계열 교통기초자료를 구축하여 과학적인 교통정책 수립 및 교통투자의 타당성 평가 등에 활용하고자 지난 1998년부터 “국가교통 조사 및 DB구축사업” 추진을 추진하였으며, 교통사업의 타당성 평가 시 이를 사용하도록 하고 있다

현재 배포되어 사용 중인 국가교통DB는 전국권과 5개 광역권 자료가 있으며, 수도권 교통본부에서 제공하는 수도권 자료가 있는데, 각각의 교통존 체계를 살펴보면 다음과 같다.

① 전국권 자료의 교통존 체계

전국 지역 간 자료의 교통존 체계는 2006년 12월 말 기준의 행정구역상 시·군·구 단위로 구축되어 있으며, 1번부터 248번까지의 순차적인 번호체계를 갖고 있다. 또한, 2011년부터 행정중심복합도시 건설 사업을 반영함에 따라 2011년/2016년/2021년/2026년/2031년/2036년 장래연도 O/D는 1개 존을 추가하여 249개 존으로 구축되어있다.

2008년 10월 현재 KTDB의 O/D 구축 현황은 다음 표 3.5.5와 같다.

<표 3.5.5> 전국 지역 간 O/D 현황

구분		존 구성	대 상	구축연도	작성기준
KTDB	전 국	248개1)	여객수단 목적화물수단 톤급 품목	2006~2036 (5년단위)	2008

주: 1) 2006년 248개에서 2011년 이후 행정중심복합도시(세종시)가 추가되어 249개임.
자료: 한국교통연구원 국가교통DB센터, 2008년 10월 현재.

② 광역권 자료의 교통존 체계

부산, 울산권을 비롯해 대구, 광주, 대전, 전주권역별로 구축된 광역권 자료의 교통존 체계를 살펴보면 광역시 내부는 동 단위로, 주변 지역은 시·군·구 단위로 교통존을 구분하고 있다. 2006년 기준자료를 살펴보면 부산·울산권은 665개 존, 대구권은 490개 존, 광주권은 404개 존, 대전권은 441개 존, 전주권은 367개 존으로 구분되며, 표 3.5.6과 같다.

<표 3.5.6> KTDB 광역권 자료의 O/D 현황

(단위: 개, 년)

대상	권역		존 구성			구축연도	기준연도
			합계	내부존	외부존		
여객 수단/목적	광 역 권	부산·울산권	665	446	219	2006~ 2036 (5년단위)	2006
		대구권	490	258	232		
		광주권	404	168	236		
		대전권	441	209	232		
		전주권	367	124	243		
화물 수단/ 톤급/품목	광 역 권	부산·울산권	411	397	14	2006~ 2036 (5년단위)	2003
		대구권	245	230	15		
		광주권	169	154	15		
		대전권	210	195	15		

주: 여객수단/목적 O/D의 경우 2011년 이후 행정중심복합도시(세종시)가 추가됨.
자료: 한국교통연구원, 『2007년 국가교통DB구축사업 제9권 광역권 여객 기종점통행량 전수화』, 2008. 4.
교통개발연구원, 『2004년 국가교통DB구축사업 제10권 수도권 및 지방 5개 광역권 화물 기종점 통행량 자료의 현행화』, 2005. 4.

③ 수도권 자료의 교통존 체계

수도권자료는 수도권(서울, 인천, 경기도)을 포함한 전국 지역을 1,142개 교통존으로 세분하여 구축되었으며, 수도권내 시 지역은 동 단위로, 군 지역은 읍·면 단위로 구축되어 있다. 행정구역은 2006년 7월 기준으로 구축되어 있으며, 2008년 10월 현재 수도권 자료의 O/D 구축현황은 표 3.5.7 및 표 3.5.8과 같다.

<표 3.5.7> 전국 지역 간 O/D 현황

구분		존 구성	대 상	구축연도	작성기준
수도권 자료	수도권	1,142개	여객 수단/목적	2006, 2011 2016, 2021 2031	2008

자료 : 서울시정개발연구원, 『2002년 서울시 가구통행실태조사 및 서울시 장래교통수요예측 및 대응방안 연구(2004)의 1,142개 소존 체계로 업데이트 4차 배포자료』, 2008.

<표 3.5.8> 수도권 자료 존 체계

(단위: 개)

구 분			존 수(2002년 기반)
소존	내부 존	서울시	522
		인천시	118
		경기도	489
	외부 존	2차 영향권	-
		기타	13
	소계		1,142
대존	내부 존	서울시	25
		인천시	5
		경기도	27
	외부 존	2차 영향권	-
		기타	1
	소계		58

자료: 서울시정개발연구원, 『2002년 서울시 가구통행실태조사 및 서울시 장래교통수요예측 및 대응방안 연구(2004)의 1,142개 소존 체계로 업데이트 4차 배포자료』, 2008.

(다) PRT 교통분석을 위한 교통존 체계 구축방안

현행 기초자료의 교통존 체계는 앞서 살펴본 바와 같이 통상 읍, 면, 동 단위로 구축되어 있음에 따라, 이들 자료를 그대로 사용할 경우 한 개 교통존 내에 여러 개의 정류장이 위치하게 된다. 한 개의 교통존 내에 정류장이 여러 개 존재할 경우 교통수요 분석 시 부득이하게 센트로이드 커넥터를 각각의 정류장에 연결할 수밖에 없는데 이는 수요분석 결과에 몇 가지 오류를 미칠 수 있다.

- 행정동 내부의 통행량을 반영할 수 없어 수요의 과소추정 발생 가능[8)]
- 통상적으로 행정동의 가운데 위치한 정류장이 아닌 외곽에 위치한 정류장에서 승하차하는 것으로 모형의 결과가 도출됨
- 현실과 다른 대중교통 접근시간 및 차내 시간이 계산됨에 따라 교통수단별 경쟁관계를 제대로 구현하기 어려우며, 노선 대안별로 이용자가 느끼는 편익 혹은 불 편익의 차이를 제대로 구현하기 어려움

따라서, PRT 교통 분석을 위해서 기본적으로는 한 개의 교통존 내에 2개 이상의 정류장이 위치하지 않도록 할 필요가 있으며, PRT 정류장을 기준으로 접근 가능한 역세권의 교통수요를 반영할 수 있도록 교통존을 세분화한다.

- 사회경제지표를 입수할 수 있는 세부 행정구역이나 블록 단위로 교통존을 세분화하며, 이때 세부 행정구역이나 블록의 경계선을 이용함

전항에서 기술하였듯이 현행 교통존 체계는 읍, 면, 동 행정구역단위의 소존으로 구축되어있어 존 세분화의 기준을 읍, 면, 동의 하위 행정구역 단위인 통, 반, 리 단위로 존을 세분화하는 방안이 필요하다.

- 서울의 경우, 2009년 기준 총 12,778개의 통, 98,895개의 반으로 구성되어 있음
- 서울시의 자치구 별 행정동, 통, 반 설치 현황은 다음의 표 3.5.9와 같음

세분화된 교통존 체계에 맞춰서 존 중심 연결링크(centroid connector)를 설정하며, O/D의 세분화 정도에 상응하여 Network를 세분화함으로써 세부존 간 통행의 증가를 담당할 수 있도록 하여야 한다.

8) 버스카드 데이터를 이용한 권병우(2004)의 연구 결과에 의하면, 사례지역의 버스 통행량 중 약 12~49%가 행정동 내부 통행량인 것으로 나타남

<표 3.5.9> 서울시 자치구 별 행정동, 통, 반 현황(2009년 기준)

(단위: 개)

구분	행정동	통	반
종로구	18	295	1,940
중구	15	254	1,616
용산구	16	344	2,534
성동구	17	465	3,716
광진구	15	372	3,141
동대문구	14	355	2,586
중랑구	16	530	3,986
성북구	20	453	3,693
강북구	13	376	3,272
도봉구	14	383	2,914
노원구	19	691	6,019
은평구	16	540	4,032
서대문구	14	543	4,254
마포구	16	404	3,112
양천구	18	543	4,427
강서구	20	598	4,734
구로구	15	652	4,994
금천구	10	396	2,991
영등포구	18	573	4,811
동작구	15	515	3,540
관악구	21	635	5,176
서초구	18	509	3,556
강남구	22	1,057	6,744
송파구	26	730	6,081
강동구	18	565	5,026
합 계	424	12,778	98,895

자료 : 서울시 행정과, 토지관리과

(3) 교통존 세분화에 따른 기종점간 통행량 추정

(가) 교통존 세분화 필요성 및 주요 전제

앞서 살펴본 바와 같이 현재 사용 중인 국가교통DB 자료는 시·군·구 혹은 읍 면 동 단위의 교통존 체계를 갖고 있어, 역간 거리가 짧은 PRT 사업의 특성상 한 개의 교통존 내에 여러 개의 PRT 정류장이 위치하기 마련이다. 따라서, PRT 사업의 교통수요를 분석하기 위해서는 읍 면·동 보다 더 작은 지역 단위의 교통존 체계의 자료를 구축할 필요가 있다.

본 절에서는 현재 사용 중인 국가교통DB를 준용하면서 교통존을 세분화 하는 방안을 제시하였다.

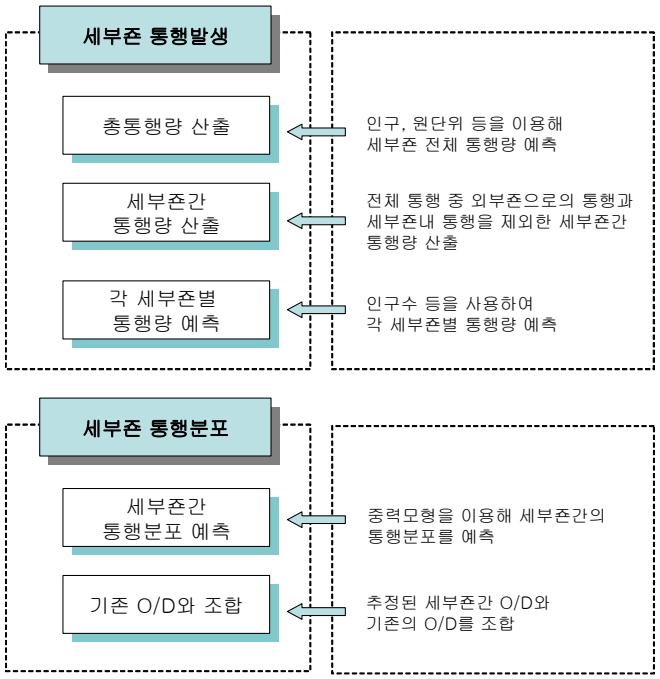
(나) 세부 존 O/D추정

① 기존 자료가 있을 경우

O/D를 세분화할 때 해당지역에 대한 교통영향평가서 등 상세한 O/D 및 네트워크 자료를 얻을 수 있는 경우 이를 이용하여 존세분화 작업에 활용한다. 다만, 기 구축된 자료를 활용할 때에는 구축된 O/D의 총량 등을 면밀히 검토하여 KTDB와의 일관성을 확보하여야 한다.

② 기존 자료가 없을 경우

기존 자료가 없는 경우, 우선 각 세부 존별 통행발생량을 산출한 다음 통행분포 모형을 이용해 세부 존 O/D를 구축한다(그림 3.5.7 참조).

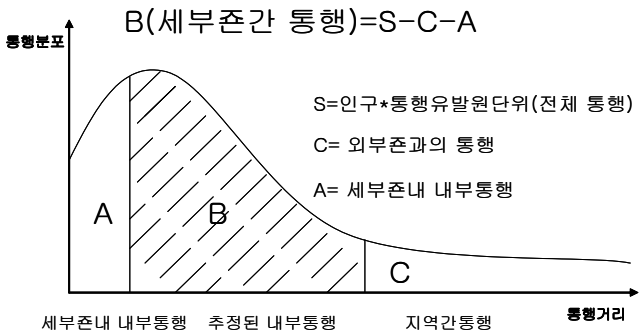


<그림 3.5.7> 기존 자료가 없을 경우 세부존간 O/D 구축 흐름도

세부존별 통행발생량은 각 세부존의 특성을 잘 반영할 수 있는 사회경제지표를 이용해서 산출하는데, 원단위법이나 회귀분석법 등을 적용한다. 원단위법에서 주거지역의 경우 인구수, 주거면적, 가구 수 등이 이용되며, 학교시설은 수용학생 수, 그리고 상업 및 업무시설 등은 건물연면적 등이 이용된다. 통행발생 원단위는 현실적이며 신뢰성 있는 지표를 적용할 필요가 있는데, 한국교통연구원(추상호, 정성봉)에서 수행한 “통행발생원단위 적용의 신뢰성 향상방안(2008)”이나 도시교통정비촉진법 시행령에 제시된 시설물별 교통유발계수 등을 사용할 수 있다.

추정된 통행발생량은 해당 세부존에서 발생하는 총 통행량이므로, 다음 단계에서 진행할 기존 KTDB와의 결합을 위해서는 주의가 요구된다.

- 추정된 통행발생량은 그림 3.5.8에서 A, B, C를 모두 합한 면적이므로, 세부 존 내 통행량은 이 중에서 기존 KTDB에 포함된 C 면적의 통행량을 제외할 필요가 있음.
- A 면적에 해당하는 세부 존 내 내부통행량을 어떻게 추정하는지에 관해서는 향후 추가검토 필요



내부통행의 개념

<그림 3.5.8> 존내 내부통행의 개념

각 세부 존별 통행발생량을 예측한 다음에는 이를 각각의 세부 존 내로 분포시키는 작업이 요구되는데, 이때 프라타모형, 중력모형 등의 통행분포모형을 이용한다. 중력모형은 교통존의 유입·유출량의 크기에 비례하고, 존 간의 거리에는 반비례하는 특성이 있으며, 형태는 다음과 같다.

$$_{j} \quad P_i(A_jF_{ij})/(\sum_{k=1}^{zones} A_kF_{ik}) \qquad (3.5.1)$$

여기서, T_{ij} : 존 i에서 존 j로의 통행

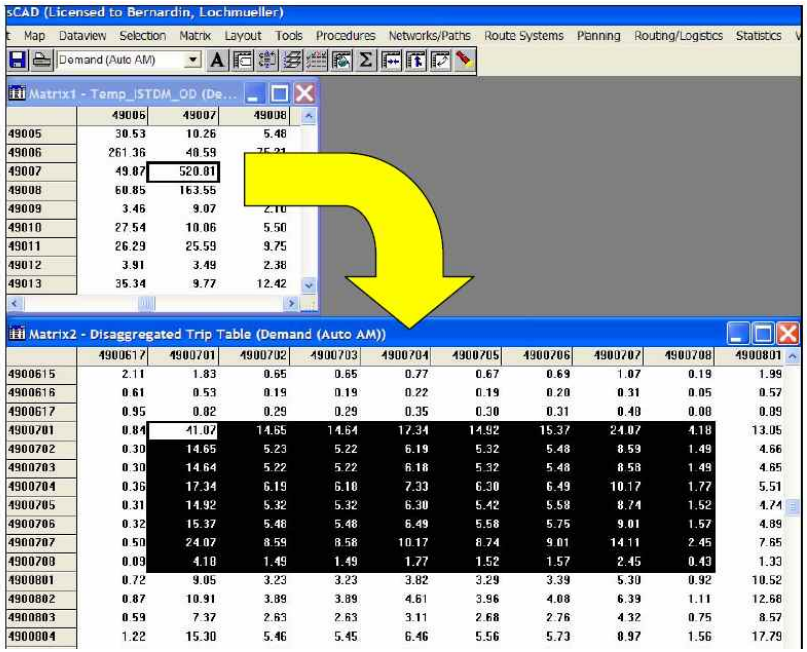
P_i : 교통존 i의 유출

A_j : 교통존 j의 유입

F_{ij} : 교통존 i와 j 간의 저항함수

(다) 세부 존 O/D와 KTDB와의 결합

세부 존 O/D가 구축되었으면, 그 다음 단계는 이를 KTDB와 결합하는 단계이다. 통상 각 세부 존별 발생량을 지표로 하여 비례식에 의해 기존 KTDB와 세부 존 O/D를 결합하는데, TransCAD의 matrix vector multiplication function을 이용해 이와 같은 작업을 손쉽게 수행할 수 있다. 다음 그림 3.5.9는 TransCAD를 이용해서 세부 존 O/D와 KTDB를 결합하는 사례를 나타낸다.



<그림 3.5.9> 세부존 O/D와 KTDB 결합사례

나. 교통수요추정 모형개발

(1) 교통수요예측의 개요

(가) 교통수요예측의 필요성

교통수요는 타당성 평가 시 편익추정에 직접적으로 활용되는 입력값 중의 하나로서 경제성을 분석하기 위해 반드시 분석되어한다. 이러한 교통수요는 대상사업의 추진여부 및 투자우선순위 뿐만 아니라, 교통시설에 대한 적정 공급규모 산출, 교통시설 건설(또는 확장)으로 인한 주변 지역의 영향 분석에도 활용가능하다. 최근 활발하게 추진되고 있는 민간투자사업의 경우, 교통수요추정 결과에 따라 사용료, 건설보조금, 적정 요금 등을 결정하기 위한 기초자료로 활용되어지고 있다.

(나) 교통수요예측모형

교통수요는 다양한 방법을 통해 추정이 가능하며, 일반적으로 교통수요모형은 접근방법, 분석단위, 분석기준, 변수특성 등에 따라 표 3.5.10과 같이 4가지로 구분된다.

<표 3.5.10> 교통수요예측모형의 종류

구 분	통행수요모형
접근방법	복합적 모형 V.S 단계적 모형
분석단위	개별적 모형 V.S 집단적 모형
분석기준	선택모형 V.S 분배모형
변수특성	결정적 모형 V.S 확률적 모형

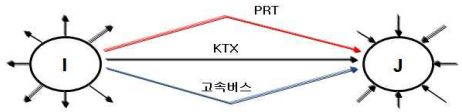
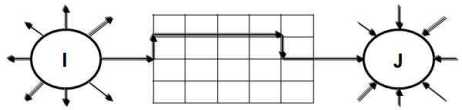
또한, 수요예측의 방법으로 개략적 수요추정방법, 직접수요예측방법, 그리고 4단계 수요추정방법 등으로 구분 가능하다. 국내에서는 4단계 수요추정방법이 가장 일반적으로 활용되고 있는데, 이는 4단계 모형이 현재의 통행결과를 정확하게 모사하는 방법이기 때문이 아니라, 모형이 내포하고 있는 교통수요추정과정이 일반적인 통행행태를 합리적으로 보여주기 때문이다.

(다) 전통적 4단계 교통수요예측모형

교통수요예측 시 국내·외에서 일반적으로 활용하는 4단계 교통수요예측방법은 통행발생, 통행분포, 수단선택, 통행배정의 4단계로 이루어진다(표 3.5.11 참조).

- 첫째, 통행발생은 각 교통존에서 발생하는 통행량과 도착하는 통행량을 추정하는 단계로서, 토지이용과 통행패턴의 상관관계를 분석대상 지역의 사회·경제적 특성을 이용하여 밝히기 위한 것으로 증감률법, 원단위법 또는 교차분류법, 회귀분석법 등이 사용됨
- 둘째, 통행분포는 통행발생단계에서 추정된 발생·도착 통행량을 교통존 간에 배분하는 단계로 성장인자모형, 중력모형, 엔트로피극대화모형, 간섭기회모형 등이 주로 활용되며, 이 과정을 통해 기종점 통행량 표(O/D table)이 생성됨
- 셋째, 수단선택단계에서는 앞 단계에서 생성된 교통존 간 O/D자료를 이용자가 선택 가능한 교통수단별로 세분화하는 단계로서, 통행단 모형, 통행교차모형, 개별행태모형 등이 주로 활용되며, 이 과정을 통해 수단별 기종점 통행량 표가 만들어 짐
- 마지막 단계인 통행배정은 각 교통수단별 O/D자료를 대상 지역 내 교통망에 배정하는 단계로서, 전량 통행배정방법, 용량제약 통행배정방법, 확률적 통행배정방법, 평형 통행배정방법 등이 주로 활용되며, 이 과정을 통해 해당 구간 또는 링크의 통행량이 결정됨

<표 3.5.11> 전통적인 4단계 추정방법의 단계적 모형개요

구 분	내 용
통행발생	
통행배분	
수단선택	
통행배정	

(라) 교통수요예측방법

국내에서 교통SOC사업을 추진하기 위해서는 기획재정부의 예비타당성 조사와 국토해양부의 타당성 평가 과정을 거쳐야 한다. 이를 위해 경제성 분석을 위한 교통수요예측을 수행하게 되는데, 이 두 제도에서는 기본적으로 국가교통DB센터(지역 간 및 5광역권) 또는 수도권교통본부(수도권)에서 배포하는 수단별 기·종점 통행 표(O/D)를 활용하여 수행한다. 이로 인해 앞에서 설명한 4단계 수요예측단계 중 통행발생 및 통행배분과정은 생략된다고 볼 수 있다. 물론 장래개발계획으로 인한 택지 및 산업단지 개발계획의 추가 등으로 기존 O/D의 수정이 필요하나, 이는 엄밀한 의미에서의 통행발생모형의 재구축이라고는 볼 수 없다. 하지만, 새로운 교통수단이 추가됨으로써 기존의 통행패턴 즉, 수단선택행태가 변할 경우 이에 대한 보정작업은 반드시 수행되어야 한다. 이러한 내용은 「도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판)」과 「교통시설 투자평가지침(제3판)」에서도 강조하고 있는 부분이다.

일례로 수도권 자료의 경우 승용차, 택시, 버스, 지하철 및 기타 수단 등 5가지 수단에 대해 O/D가 구축되어 있으며, 5대 광역권 자료의 경우 승용차, 택시, 버스, 철도, 기타, 도보 등 6개 수단에 대해 O/D가 구축되어 있는 상황이다. 이에 따라 PRT, BRT 등과 같은 새로운 교통수단이 추가될 경우 기존 수단에서 새로운 수단으로 이용자들이 전환됨에 따라 기존 O/D가 변하게 되며, 전환된 수요를 표현할 수 있는 새로운 O/D가 구축되어야 한다. 이러한 O/D의 수정은 신규 수단이 도입됨으로써 기존 수단의 수단 분담률을 재 추정함으로서 이루어지며, 이러한 수단 분담률은 수단분담모형의 추정을 통해 가능하다. 수단별 O/D가 구축이 되면, 이를 이용하여 각 지침에서 규정하고 있는 기준에 맞추어 통행배정을 수행하여 구간 또는 링크별 통행량을 산출한다.

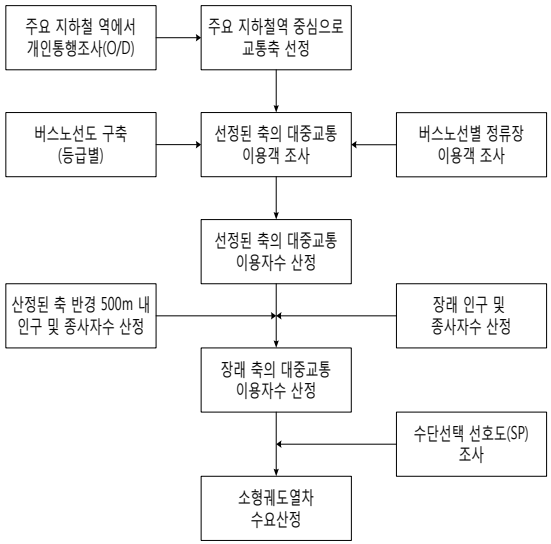
(2) 기존연구 검토

본 연구의 교통수요모형 개발에 앞서 유사 연구에서 수행한 방법을 검토함으로써 연구의 효율성을 제고하고자 한다. 검토대상 연구로는 본 과업과 같이 신규수단 도입을 위해 적용한 수요분석방법 위주로 조사하되, 통행발생, 통행배분, 그리고 통행배정의 경우 일반적인 절차와 유사하므로 수단분담 단계를 중심으로 조사하였다. 이에 따라 2006년 수행된 차세대첨단 도시철도시스템 기술개발사업 1차년도 연구결과와 2009년 한국교통연구원에서 수행한 전국대도시권 BRT구축 수립계획 시 적용한 방법, 그리고 BRT 및 경전철 도입을 위해 수행한 한국개발연구원의 예비타당성 조사에 활용한 방법에 대해 살펴본다.

(가) PRT 시스템의 적용성 검토 연구(철도기술연구원, 2006)

PRT 시스템의 특성상 전통적인 4단계 분석방법과 일반적 수요예측분석 프로그램을 직접 적용하기 어렵기 때문에 「대중교통 기본계획 수립을 위한 연구」(건설교통부, 2006)에서 적용한 방법을 활용하였다. 즉, 건설교통부(2006)의 연구에서는 축 분석법을 활용하여 해당 지역 대중교통의 수요를 추정하였다.

교통수요예측을 위한 기초자료로 「서울시 장래교통수요예측 및 대응방안연구」(2005)와 분석대상 지역의 기초통계자료를 활용하였으며, 교통수요예측을 위해 4단계 분석방법을 적용하지 않고, 대중교통 이용가능수요를 직접 추정하여 활용하였다(그림 3.5.10 참조).



<그림 3.5.10> 철도기술연구원(2006) 연구의 수요예측방법

즉, 해당 지역을 통과하는 사업노선의 이용수요를 분석하기 위해 노선이 통과하는 지역의 영향권(중심선으로부터 500m이내)의 인구와 종사자수를 이용하였으며, 분석 영향권의 인구와 종사자는 해당동의 인구밀도와 종사자 밀도를 토대로, 분석 영향권의 면적을 곱하여 계산하였다. 대중교통이용수요를 추정하기 위해 대상교통축의 현 이용수요와 영향권내의 인구 및 종사자수를 비교하여 도시별 계수( )를 추출하였다.

$$\alpha = (\text{상교통축의현 대중교통수요})/(\text{현 영향권 내인구 및 종사자수}) \qquad (3.5.2)$$

이 때, α값의 범위는 ±10% 오차를 감안하여 $0.9\alpha \sim 1.1\alpha$값을 사용하였으며, 결국 해당 교통축의 예상 대중교통수요는 다음의 범위 내에 존재하는 것으로 가정하고 분석하였다.

$$0.9\alpha \times \quad_{,e} \leq \text{해당축 장래 대중교통수요} \leq 1.1\alpha \times N_{p,e} \qquad (3.5.3)$$

이러한 방법을 이용하여 해당 교통축의 이용수요를 계산한 후, PRT의 도입으로 인한 수단 전환율을 적용하여 PRT의 이용수요를 산정하였다.

(나) 전국대도시권 BRT 구축 수립계획

이 과업에서는 수도권을 포함한 5대광역권의 BRT 도입 타당성을 검토하기 위해 수요예측 및 경제성 분석을 수행하였으며, KTDB에서 제공하는 수단별 O/D에 BRT가 포함되어 있지 않기 때문에 SP조사를 통한 수단분담모형을 직접 개발하였다.

수단분담모형 개발을 위해 주요 축에 대한 SP 조사가 이루어졌으며, 수도권의 경우 경인로, 시흥대로, 의정부 축 등 3개 노선을 대상으로 승용차, 버스, 지하철 등 각 수단별로 100부씩 총 1200부를 조사하였다. 전체 설문 중 분석에 활용한 유효설문수는 600부로 총 수집자료의 50% 수준이었다. 설문조사결과 지하철을 선택한 사람이 41%로 가장 높은 비율을 가지는 것으로 조사되었으며, 택시는 6.67%로 가장 낮은 비율을 차지하였다. 이는 해당 조사구간의 거리가 비교적 먼 거리로 택시이용요금이 타 수단에 비해 상당히 높기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 수단분담모형 구축을 위해 Limdep 8.0을 이용하였으며, NLOGIT모듈을 이용하여 분석되었다.

<표 3.5.12> 자료구조 및 분석도구 개요

수 단	자료 구성비율
승용차	17.67%
버스	26.33%
지하철	41.00%
택시	6.67%
BRT	14.33%
총 관측수	1200부
유효설문수	600부
※ 분석 Tool : Limdep 8.0 (NLOGIT 3)	

특히 수단별 효용함수구축 시 시간 및 비용 파라미터의 계수는 모든 수단이 동일한 Abstract 모형을 활용하였으며, 기본적인 모형식은 다음과 같은 형태를 가진다.

$$k) = \alpha + \beta_{C} \cdot TC + \beta_{TT} \cdot TT \quad (3.5.4)$$

여기서,

$U(k)$: 수단 k의 효용함수

α_k : 수단 k의 수단특성상수

TC : 통행비용

TT : 통행시간

β_{TC} : 통행비용 계수

β_{TT} : 통행시간의 계수

모형구축결과 Dummy값, 모형계수의 통계적 유의성은 어느 정도 확보되는 것으로 분석되었으며, 모형의 설명력을 의미하는 수정된 ρ^2 즉, ρ^2는 0.26130으로 나타났다. 모형의 설명력은 유의성 있는 것으로 분석되었으나, 기준연도의 분담률과 비교한 결과 각 수단별 수단분담율의 차이가 발생하여, 예비타당성 조사 등에서 제시하는 보정방법을 통해 Dummy값을 보정하였다.

$$\alpha_{i(\text{수단}i\text{의 보정치})} = V_{car(\text{승용차효용})} - V_{i(\text{수단}i\text{효용})} + \ln\left(\frac{P_{i(\text{수단}i\text{분담률})}}{P_{car(\text{승용차분담률})}}\right) \quad (3.5.5)$$

대안특별상수의 보정은 현재 운행 중인 수단에 대해 적용가능 하므로, 이에 따라 아직 도입전인 BRT에 대한 보정상수의 계산은 어려우므로, BRT의 경우 버스와 지하철의 중간적 특성을 보일 것으로 판단하여 BRT 모정계수를 Rule of Half에 의해 다음과 같이 설정하였다.

$$BRT \text{ 정계수} = \frac{(\text{버스보정계수} + \text{지하철보정계수})}{2} \quad (3.5.6)$$

각 수단별 보정치를 보정 전 Dummy 상수에 더하여 BRT 도입 후 각 시나리오별 수단분담모형을 표 3.5.13과 같이 최종적으로 제시하였다.

<표 3.5.13> 수단분담모형 분석결과(전국대도시권 BRT 구축 수립계획)

구분	Ttime (p-value)	Tcost (p-value)	Dummy		
			보정전	보정치	보정후(적용)
승용차	-0.1281 (0.0000)	-0.0007 (0.0264)	-	-	-
택시			1.93885074	2.456490223	4.395290
버스			2.78952001	0.239456362	3.028456
지하철			2.06623119	-0.602019724	1.463980
BRT			2.07176248	-0.181281681	1.890418
$\overline{\rho^2}$	0.26130				

(다) 예비타당성 조사사업

① 천호~하남 BRT 건설사업

이 과업에서는 BRT 수송수단을 기존 수송수단인 지하철과 동일한 수단으로 가정하고 한국교통연구원의 『2002년 국가교통DB 최종보고서-4권 수도권 및 지방 5개 광역권 여객통행량 분석』의 수단선택모형을 사용하였다.

수단선택모형은 통행자 개개인의 통행 행태 특성을 파악하여 수단분담율을 예측하는 개별 행태모형 중 로짓모형이며, 장래년도의 사업 미시행시와 사업시행시의 외부간 통행 O/D는 기준년도와 같은 로짓모형을 적용하였고, 사업 시행시의 내부-내부 및 내부-외부 통행 O/D는 KDI의 지침에 제시된 모형을 Incremental 로짓모형으로 적용하였다.

통행 특성별로 크게 3개의 통행으로 구분하여 각각 별도의 교통수요분석 방법을 적용하여 분석되었다.

- 첫 번째 통행 : BRT 노선에서 수직거리로 1km정도에 해당되는 보행권으로 직접적 영향을 받는 권역 내부에 있는 교통존간의 통행(사업지 내부간 통행)
- 두 번째 통행 : BRT 권역에 출발지 또는 도착지 중 하나가 위치하고, 다른 한편의 도착지 또는 출발지가 BRT 권역 외곽에 위치한 다른 수도권 내 교통존에 위치한 통행(사업지 내부↔외부간 통행)
- 세 번째 통행 : 출발지와 도착지 모두가 BRT 권역 밖에 위치한 통행(사업지 외부간 통행)

최종 수단선택모형은 통행비용과 통행시간을 일반변수(generic variable)로 하며, 확률효용요소는 수단특성상수로 모형화되는데,『도로 및 철도부문 예비타당성조사 표준지침 연구(제4판)』에서 제시하고 있는 수도권의 수단선택 효용함수의 파라미터를 사용하였다.

<표 3.5.14> 수단선택모형의 효용함수 파라미터값1(수도권)

구 분	Ttime	Tcost	DUM
승용차	-0.39896	-0.01704	-
택 시			-2.55838
버 스			0.0776925
지하철			-0.0579425

자료 : 한국교통연구원,『2002년 국가교통DB 최종보고서-4권 수도권 및 지방5개광역권 여객통행량 분석』

구분된 3개의 통행 종류를 각각의 Network에 Transit Assignment를 수행함으로서 BRT수요를 예측하였다.

주 교통수단이 버스인 통행자들의 BRT 환승에 의한 수요를 분석하는 방법은 다음과 같다.

- 1단계 : COD_j $BOD_{ij}^{버}+COD_{ij}^{버}$를 구축함
- 2단계 : 구축된 버스 O/D와 BRT가 추가된 사업 시행시의 버스 네트워크를 이용하여 Transit Assignment를 수행하여 주교통수단이 버스인 통행자가 이용하는 BRT의 수요를 추정함
- 3단계 : Transit Assignment분석 결과를 이용하여 각 BRT의 수요를 아래와 같이 정의함

$F_{seg}^{버}$ = BRT 구간 segment에서 주 교통수단 버스 이용자의 수요

$L_s^{버}$ = BRT 정류장 s에서 주 교통수단 버스 이용자의 승차 승객수

$X_s^{버}$ = BRT 정류장 s에서 주 교통수단 버스 이용자의 하차 승객수

주 교통수단이 지하철 또는 BRT인 통행자들의 BRT이용 수요를 분석하는 방법은 다음과 같다.

- 1단계 : $ABCOD_{ij}^{전}=AOD_{ij}{}^{RT}+BOD_{ij}^{지}+COD_{ij}^{지}$의 O/D자료를 구축
- 2단계 : 구축된 ABC O/D와 BRT가 추가된 수도권 지하철 네트워크를 이용하여 Transit Assignment를 수행하여 주 교통수단이 지하철 또는 BRT인 통행자가 이용하는 BRT의 수요를 추정
- 3단계 : Transit Assignment 분석 결과를 이용하여 각 BRT의 수요를 아래와 같이 정의함

$F_{seg}^{지}$ = BRT 구간 segment에서 주 교통수단 지하철 이용자의 수요

$L_s^{지}$ = BRT 역 s에서 주 교통수단 지하철 이용자의 승차 승객수

$X_s^{지}$ = BRT 역 s에서 주 교통수단 지하철 이용자의 하차 승객수

BRT의 총 수요는 다음과 같이 계산된다.

$$F_{seg} = F_{seg}^{버} + F_{seg}^{지} \quad \forall \text{ seg} \tag{3.5.7}$$

$$L_s = L_s^{버} + L_s^{지} \quad \forall \text{ s} \tag{3.5.8}$$

$$X_s = X_s^{버} + X_s^{지} \quad \forall \text{ s} \tag{3.5.9}$$

② 성남 경량전철 1호선 건설사업

이 과업에서는『국가교통DB구축사업』에서 사용한 집계다항로짓모형(Aggregate Multinomial Logic)을 적용하였으며, 대표 교통수단으로서 승용차, 버스, 택시, 지하철, 철도를 선택대안으로 하고, 효용함수는 총 통행시간과 통행비용을 이용하여 분석하였다.

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_n \exp(V_i)} \tag{3.5.10}$$

$$V_i = \sum_k \beta_k X_{ki} \tag{3.5.11}$$

여기서 P_i : 교통수단 i의 수단특성 상수

V_i : 효용함수

X_{ki} : 교통수단 i의 특성변수

β_k : 파라메타

각 수단별 효용은 수단별 통행시간, 통행비용 등에 의해 결정되는데 산출식은 다음과 같다.

$$\beta_0 MODE_i + \beta_1 TIME_i + \beta_2 COST_i \quad (3.5.12)$$

여기서 $MODE_i$: 교통수단 i의 수단특성 상수

$TIME_i$: 교통수단 i의 총 통행시간

$COST_i$: 교통수단 i의 총 통행비용

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$: 파라메타

최종 수단선택모형은 통행비용과 통행시간을 일반변수(Generic Variable)로 하며, 확률효용요소는 수단특성상수로 모형화되는데, 『도로 및 철도부문 예비타당성조사 표준지침 연구(제4판)』에서 제시하고 있는 수도권의 수단선택 효용함수의 파라미터가 사용되었으며, 앞에서 언급한 천호~하남 BRT건설사업과 같은 파라미터 값이 사용되었다.

<표 3.5.15> 수단선택모형의 효용함수 파라미터값2(수도권)

구 분	Ttime	Tcost	DUM
승용차	-0.39896	-0.01704	-
택 시			-2.55838
버 스			0.0776925
지하철			-0.0579425

자료 : 한국교통연구원, 『2002년 국가교통DB 최종보고서-4권 수도권 및 지방5개광역권 여객통행량 분석』

③ 울산시 경전철 건설사업 예비타당성 조사

이 과업에서는 『2002 국가교통DB구축사업』에서 지역별로 구축한 회귀모형식 및 출근, 등교 통행발생 카테고리분석법을 이용하여 지역별 구·시 별로 적용하여 시나리오별 장래 목적별 통행발생량을 예측하였다. 이러한 총 수단통행 발생량과 『2002 국가교통DB구축사업』에서의 통행분포모형인 프라타모형을 이용하여 도보를 포함한 총 수단통행량에 대한 통행분포를 예측하였다.

장래수단별 통행량을 예측하기 위하여 『2002 국가교통DB구축사업』에서의 수단별 O/D를 기본으로 하였다. 그러나 이 과업의 경우 경전철이라는 새로운 교통수단이 도입되므로 목적별 Trip O/D를 구축하는 과정이 필요하다. 하지만 신교통수단에 대한 수단선택모형이 구축되어 있지 않아 울산 이외의 지역에서는 기존의 수단선택모형을 이용하였다. 경전철 이용수요의 직접영향권인 울산지역은 『울산광역시 신교통수단도입을 위한 타당성조사 및 기본계획』에서의 SP조사를 통하여 구축된 다항로짓모형을 이용하였다.

$$P_n(i) = \frac{\exp(\mu V_{in})}{\sum_j \exp(\mu V_{in})} \quad (3.5.13)$$

$$U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in} \qquad \forall i \quad C_n \quad (3.5.14)$$

$$V_{in} = \beta X_{in} = \sum_{k=1}^{K} \beta_k X_{ink} \text{ for } i \in C_n \quad (3.5.15)$$

$P_n(i)$ = 개인 n이 선택수단 i를 선택할 확률 (Probability)

U_{in} = 개인 n이 선택수단 i로부터 얻을 효용 (Utility)

V_{in} = 개인 n이 선택수단 i로부터의 효용 확정항(Systematic Components)

ϵ_{in} = 효용함수 U_{in}의 오차항 (Random Disturbances)

μ = V_{in}의 크기를 조정하기 위한 Scale Parameter (단, $\mu > 0$)

$U_{auto} = 0.4562 + (-0.00104)\, Cost_{auto} + (-0.04582)\, Time_{auto}$

$U_{transit} = 0.05133 + (-0.00104)\, Cost_{transit} + (-0.04582)\, Time_{transit}$

$U_{n-transit} = (-0.00104)\, Cost_{n-transit} + (-0.04582)\, Time_{n-transit}$

U_{auto} = 승용차의 효용

$U_{transit}$ = 버스의 효용

$U_{n-transit}$ = 신교통수단, 즉, 경전철의 효용의미

<표 3.5.16> 수단선택 모형결과

변수	Parameter Estimate	Standard Error	T-Value
Cost(원)	-0.00104	0.0000743	-14.0
Time(분)	-0.04582	0.00263	-17.4
Dummy auto	0.4562	0.158	2.9
Dummy transit	0.05133	0.0367	1.4
$0) = -7136.26\ L(\beta i) = -9055.05\ \rho = 0.2119\ N = 8010$			

자료: 『신교통수단 도입을 위한 타당성조사 및 기본계획』

(3) 교통수요모형 개발 방법론 설정

합리적인 수요분석을 위해서는 전통적 4단계 모형을 활용하는 것이 가장 바람직하다. 앞에서 언급하였듯이, 통행발생, 통행배분 및 통행배정의 경우 기존 모형을 그대로 활용할 수 있다. 다만, PRT 수단 도입으로 인한 수단 분담율 변화의 분석은 매우 중요한 단계이므로 적절한 수단분담모형의 구축이 요구된다. 하지만, 수단분담모형 구축을 위해서는 SP조사를 위한 설문지 작성, SP조사, 조사자료 분석, 모형구축 등의 과정이 필요하다.

이에 대한 차선책으로 현 예비타당성 조사에서 활용하고 있는 방법을 활용할 수 있으나, PRT와 비슷한 성격을 가지는 기존 수단이 부재하기 때문에 타 수단의 수단분담모형을 활용하는 것도 무리가 있다.

결국 PRT의 수요분석을 위해서는 소형궤도열차시스템의 적용성 검토 연구(철도기술연구원, 2006)의 방법론을 활용하되, 분석과정에서 불합리한 부분을 수정하여 본 과업에 적용하는 것이 가장 바람직할 것으로 사료된다.

- 이를 위해 KTDB와 수도권 교통본부에서 제공하는 수단별 O/D를 이용하여 기존 대중교통이용수요를 도출하도록 함
- 기존 O/D의 경우 PRT수단에 맞게 존 세분화가 되어야 하며, PRT 이용수요를 계산하기 위해서는 세분화된 O/D Pair 값에 PRT 전환률을 곱하여 수요를 산출하도록 함

다. 한계점

일반적으로 정확한 존세분화를 위해서는 존 세분화를 위한 기준을 합리적으로 설정해야 하며, 통상 인구와 종사자수 등을 활용한다.

- 하지만 통, 반으로 존을 세분화하였을 경우 세분화존의 인구 및 종사자수는 추가적인 조사가 필요
- 현재 통, 반 수준의 DB구축이 이루어져 있지 않기 때문에 추가적인 조사를 통한 자료수집이 필요할 것으로 사료됨
- 본 연구에서는 해당지역의 면적을 기준으로 내부통행량을 산정하도록 함

PRT의 경우 도보, 자전거, 단거리 대중교통(마을버스, 시내버스) 등이 경쟁수단이 될 수 있으며, PRT가 건설될 경우 이러한 수단으로부터 수요전환이 발생할 것으로 보인다.

- 하지만, 현재 도보, 자전거에 대한 O/D는 부재하기 때문에 이러한 수단으로부터의 정확한 전환량을 산정하는 것은 거의 불가능함
- 또한 단거리 수요의 경우 일부 지하철이 분담하기도 하지만 통상 마을버스 또는 시내버스가 그 기능을 담당한다고 볼 수 있음
- 본 연구에서는 PRT수단이 도입될 경우 대부분의 수요는 버스로부터 전환된다는 것을 전제로 하여 분석을 수행하며, 향후 SP조사를 통해 이러한 부분에 대한 보완이 필요할 것으로 보임

3. 비용산정 기준 개발

가. 비용의 분류 및 추정방법

(1) 비용의 분류

PRT사업의 비용은 총 사업비와 운영비로 대별할 수 있으며, 세부항목의 구분은 각 연구결과에 따라 다소 차이를 보이고 있다. 본 지침 연구에서는 “도로・철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정・보완연구(제5판)”에서 제시한 비용항목을 적용하되 운행 및 유지관리비용을 운영비용으로 하고 세부항목으로 구분하였다.

<표 3.5.17> PRT 사업 비용의 분류

구 분		항 목			
비용	총사업비	건설비	공사비	노반(토목)	• 토공 • 교량 • 터널 • 정거장 • 입체교차
				궤 도	
				건 축	
				차량기지	
				시스템	• 전력 • 통신 • 신호
			부대비	설 계 비	
				감 리 비	
				기 타	
			용지보상비		
			예 비 비		
		차량 구입비			
	운영비	인 건 비(일반관리비 및 제경비)			
		동 력 비			
		유지관리비(시설, 장비, 시스템)			
		대체투자비			

(2) 비용의 구성

PRT사업에서 공사비란 노반 공사비 뿐 아니라 궤도, 건축, 시스템 공사비 및 차량기지 공사비를 포함한다.

(가) 공사비

① 노반공사비

PRT의 건설시 가장 많은 비용투자가 요구되는 항목이 노반 공사비이다. 노반은 크게 토공과 구조물로 이루어진다. 토공에는 다시 지반처리 공정과 흙 쌓기, 흙깎기와 토공 구조물의 작업이 존재한다.

구조물에는 터널과 교량이 비용의 주 항목을 이루게 된다. 터널은 산악 또는 도심지 등 설치된 지역에 따라 시공비용에 큰 차이가 나므로 이를 세분화한다. 교량구간은 일반구간과 하천구간으로 세분한다. 여기서, 일반구간은 도심구간을 포함하며, 하천구간은 연약지반을 포함한다.

정거장은 차량길이와 최대 차량 정차가능수 등에 따른 정거장 길이와 유효장 등을 통해 산출된 토목공사비와 건축비를 토대로 정거장 건설비 단가를 산출한다. 정거장은 노반 형식에 따라 공사비용에서 큰 차이가 나므로 토공과 교량, 그리고 지하구간으로 구분한다.

공사비의 구성항목은 다음과 같으며, 본 과업에서는 이러한 항목구성을 준용하도록 한다.

<표 3.5.18> 노반공사비의 구성항목

번호	대분류	중 분 류
1	토 공	• 본선토공 • 본선부속 • 개천내기
2	교 량	• 길 내 기 • 지 축 • 연약지반
3	구 교	
4	하 수	
5	터 널	• 개착식터널 • NATM 터널 • 개착식 BOX • 터널 부대공
6	입체교차	
7	정 거 장	
8	임 시 선	
9	가 시 설	(각 공종에 포함하여 산출할 수 있음)
10	부 대 공	
11	주요자재비	(각 공종에 포함하여 산출할 수 있음)

② 궤도공사비

궤도는 선로가 설치되는 구간을 대상으로 하여 원단위를 산출한다. 분기에 대한 별도 항목을 만들어서 작성한다.

③ 건축공사비

PRT 건설에 따라 신축되는 건축물 중 일반적으로 정거장에 설치되는 역사, 각종 지원건물 등은 건설비 항목의 건축비로 분류하여 산출한다.

④ 차량기지 공사비

차량기지 비용은 차량기지 기능 확보를 위하여 소요되는 인입선 사업비, 건축, 설비, 궤도, 시스템 분야 등의 비용을 포함한다.

⑤ 시스템 공사비

■ 전차선・전력공사비

◦ 전철과 통신, 신호에 소요되는 전원 공급설비 비용을 포함

◦ 전력설비는 송・배전 설비와 변전시설을 포함

■ 신호공사비

PRT의 신호보안설비는 PRT의 안전운행 확보와 효율적인 운행을 도모하기 위한 필수 시설로서 폐색장치・신호장치・연동장치・자동 운전제어장치 등을 포함한다.

■ 통신공사비

통신시스템은 PRT의 종합정보, 열차무선, 여객자동안내, 역무자동화설비 등을 포함한다.

(나) 부대비

부대비용은 설계용역비(기본, 실시), 감리비, 측량비 및 조사비 등을 포함한다.

(다) 용지보상비

용지보상비는 용지구입비와 지장물보상비의 합으로 구성된다.

(라) 차량구입비

차량 구입비는 당해 PRT에 운영되는 차량 시스템의 구입비용을 포함한다. 차량구입비는 크게 초기 차량구입비와 수요증가에 따른 추가차량 및 내구년한에 의한 노후차량 구입비로 구분되는데, 총사업비 산정에는 초기 차량구입비만을 산정하고, 추가차량 비용은 운영비로 산정한다.

(마) 예비비

예비타당성조사 단계에서 발생될 수 있는 사업비 산출의 오차 및 이에 따른 영향을 최소화하기 위하여 산출된 (공사비+부대비+용지보상비)의 10%를 예비비로 책정한다.

(바) 운영비

운영비용의 산정은 전혀 운영사례가 없는 새로운 철도 시스템의 경우, 유사한 철도운영체계를 구상하여 이를 개략적으로 산정한다.

(3) 공사비 추정 방법

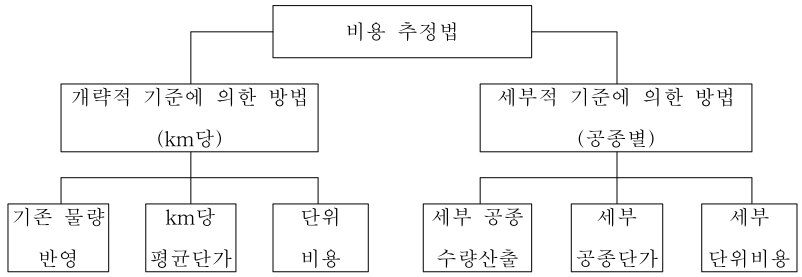
일반적으로 공사비추정은 개략적 기준에 의한 방법과 세부적 기준에 의한 방법으로 나눌 수 있으나 본 연구에서는 PRT사업이 전혀 운영사례가 없는 새로운 철도 시스템이므로 유사한 경량전철을 참고하여 산정한다.

(가) 개략적 기준에 의한 방법(km당 PRT 건설 평균단가 산정)

공사비 산출 자료가 충분하지 않을 경우 기존자료에 의한 통계적 접근을 통해 추정된 평균 건설단가인 공종별 km당 공사비를 산출한 후 총 비용을 추정하는 방법이다. 이는 지역적인 특성을 반영하기 어려우므로 사업의 연장이 길어 세부적인 물량산출이 어려울 경우에 한하여 적용을 권장한다.

(나) 세부적 기준에 의한 방법(세부공종별 표준공사비 산정)

주요구조물의 세부공종에 대한 수량을 산출하고 세부공종에 대한 단가를 산출한 후 이를 곱하여 공사비를 산출한다. 개략적 기준에 의한 방법과 비교하여 현장여건의 세부사항이 반영되므로 오차범위를 축소할 수 있으나, 구조물 형식의 기술적 검토, 세부자료 확보와 사업과 관련된 이해당사자 의견 등 전제조건 충족이 필요하다.



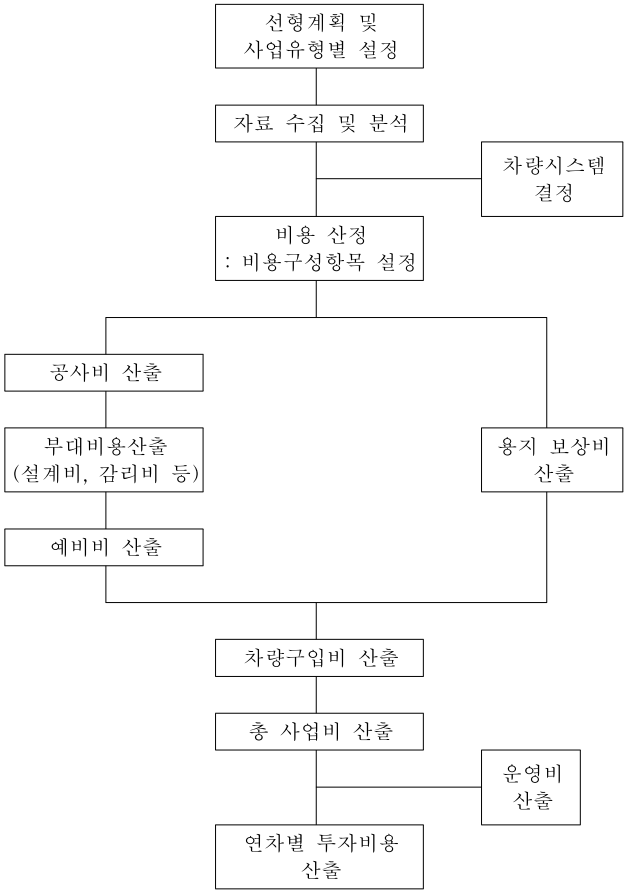
<그림 3.5.11> 비용추정방법

(4) 기준년도 설정

기준년도에 따른 비용추정 시 예비타당성조사 단계에 기준년도 설정문제는 예비타당성조사 → 기본계획 → 기본설계 → 실시설계의 각 철도사업 추진 단계별로 물가 시세의 변동, 적용 기준의 변경 등으로 인한 비용의 차이가 발생 하므로 분석기준년도는 착수시점의 전년도를 분석 기준시점으로 하여 편익과 비용을 추정한다.

(5) 비용추정과정

PRT부문의 비용추정은 그림 3.5.12와 같은 과정을 통해 산출한다.



<그림 3.5.12> 비용추정과정

나. 공사비 추정

(1) 토목(노반)공사비

토목공사비는 본선, 정거장, 차량기지로 구분하여 공종별(지하, 교량, 지상)로 사업비를 산출한다. 차량기지 공사비는 토목, 조경이며 토목비에 포함토록 한다.

(가) 본선구간

공사비 추정은 전혀 운영사례가 없는 새로운 시스템이므로 개략적 기준에 의한 방법(km당 경량전철 건설 평균단가 산정)에 따라 추정 하는 것을 원칙으로 한다.

PRT차량은 경량전철에 비해 차량 중량 및 규모가 훨씬 작으므로 공사비의 20%를 적용토록 한다.

개략적 기준에 의한 방법은 지형적요소를 고려하여 공종별로 차량별 시스템 선정결과를 적용하여 산출한다.

<표 3.5.19> 본선구간 표준공사비(개략적 기준, 2010년 기준)

(단위: 억원)

구 분			단위	표준공사비	비 고
본 선	토공	일반구간	km		
		연약구간	km		일반구간 대비 30% 증가
	교량	일반구간	km		
		연약구간	km		일반구간 대비 40% 증가
	U-TYPE		km		
	개착	심도 10m이하	km		
		심도 20m이하	km		
		심도 30m이하	km		
	터널	일반터널	km		
		특수터널	km		

주 : 부가세 포함

(나) 정거장 및 환기구

정거장은 지상, 고가, 지하로 산출하며 지하구간의 경우 환기구 비용을 반영한다.

<표 3.5.20> 정거장 표준공사비(2007년 기준)

(단위: 억원/개소)

구 분		표준공사비	비 고
정거장	지상(L=60m)	1.3	
	고가(L=60m)	7.9	
	지하(L=60m)	26.6	
환기구		13.9	

주 : 부가세 포함

(2) 궤도공사비

궤도공사비는 차량시스템에 따라 본선연장을 기준으로 단위공사비를 산출한다.

<표 3.5.21> 유형별 궤도 표준공사비(2007년 기준)

(단위: 억원)

구 분		단위	궤도공사비	비 고
궤 도	본선	km	4.3	

주 : 부가세 포함

(3) 건축공사비

건축공사비는 정거장, 차량기지로 구분하여 적용시스템별 건축공사비를 적용하여 원단위를 산출한다. 건축 공사비는 지하의 경우 차량길이보다는 기능실 배치에 의하여 정거장길이가 결정되므로 시스템에 따른 공사비의 차이는 거의 없다.

그러나 고가의 경우 열차길이에 따라 건축 공사면적이 상이하게 되므로 이를 반영하여야 하며, 60m를 기본으로 산정한다.

<표 3.5.22> 건축 표준공사비(2010년 기준)

(단위: 억원)

구 분			단위	공사비	비 고
건축	정거장	지상(L=60m)	개소	0.6	
		고가(L=60m)	개소	0.8	
		지하(L=60m)	개소	0.4	

주 : 부가세 포함

(가) 차량기지

차량기지의 규모는 시스템의 종류, 수송수요, 노선연장, 소요차량수 등 여러 가지 요소가 복합적으로 작용하여 결정되어지므로 정확한 차량기지의 면적을 산출하기에는 무리가 있는 실정이다. 본 연구에서는 국내 경량전철 적용사례를 분석하여 적정 차량기지의 규모를 산정하였다. 더불어서 차량기지 공사비의 하위항목으로 검수공사비도 포함하여 산정하도록 한다.

차량기지의 공사비는 토목, 궤도, 건축, 기계, 전기, 신호, 통신, 검수분야로 구분하여 산출한다.

(4) 시스템

(가) 전기공사비

전기공사비는 일반 전력, 송전비용 및 변전소 비용을 포함하도록 한다.

<표 3.5.23> 전기 표준공사비(2010년 기준)

(단위: 억원/km)

구분		단위	전기공사비	비고
전기	본선	km	8.7	

주: 부가세 포함, 선형유도모터(LIM)는 Reaction Plate비용 11.8억 추가

(나) 신호공사비

신호공사비는 본선 과 종합사령실로 구분하여 원단위를 산출한다.

<표 3.5.24> 신호 표준공사비(2010년 기준)

(단위: 억원)

구분		단위	공사비	비고
신호	본선	km	6.1	
	종합사령실	식	13.4	

주: 부가세 포함

(다) 통신공사비

통신공사비는 운행과 직접적인 관련이 없는 역간 통신설비 비용을 산정하며, 운행을 위한 통신설비비는 차량시스템 비용에 포함되지 않을 경우 추가한다.

<표 3.5.25> 통신 표준공사비(2010년 기준)

(단위: 억원)

구분		단위	통신공사비	비고
통신	본선	km	3.1	
	정거장	개소	5.8	
	종합사령실	식	30.6	

주: 부가세 포함

다. 운영비

(1) 개요

PRT는 대중교통수단의 중추적 역할을 행하는 공공서비스 시설로서 사회, 경제적 측면에서의 공헌도가 매우 높다. 이에 따라 시민생활의 편의와 안위를 위하여 무엇보다도 안전, 책임, 서비스 등이 요구되므로 이를 고려하여 계획하여야 한다.

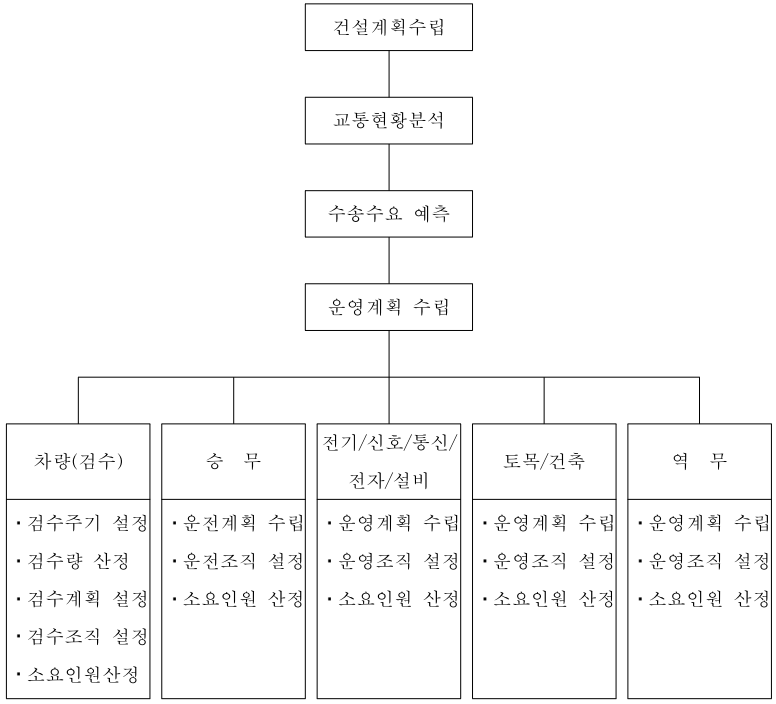
PRT의 특성을 고려한 역무자동화, 열차운전(유인, 무인)방식, 종합관리체계를 통한 설비집중과 관리기능 단순화의 고려 및 기존 도시철도의 운영실적을 바탕으로 운영비용을 산정하였다.

(2) 운영인원계획

(가) 개요

운영인원계획은 국내외 운영사례 및 유사용역자료를 기초로 유지보수인원, 차량보수인원, 운전사령인원, 역무원, 승무원, 관리요원으로 구분하여 각 분야별로 원단위를 적용하여 수립한다. 본 연구는 운영사례분석을 통하여 기본적 기준을 제시한 것임으로 각 사업의 특성에 따라 적정한 운영방안을 제시하고 가감하여 적용할 수 있을 것이다.

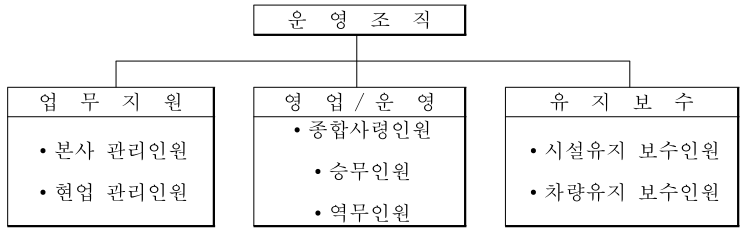
(나) 운영인원 산정 흐름도



<그림 3.5.13> 운영인원 산정 흐름도

(다) 기구조직

운영조직은 행정, 인사, 급여, 구매 등을 담당하는 업무지원 분야, PRT의 운영 및 영업을 담당하는 영업/운영 분야, 시설물 및 차량유지관리를 담당하는 유지보수 분야 등으로 업무특성에 따라 분류하였다.



<그림 3.5.14> 기구조직

(3) 운영인원산정

PRT는 공공서비스 시설로 안전의 확보 및 시민생활의 편의가 무엇보다 중요함으로 운영 중 업무공백 및 서비스 저하가 발생되지 않는 것을 기본으로 운영조직을 제시하나, 사업특성에 따라 안전, 서비스 등의 확보가 가능한 경우 조직 통합 등을 통하여 적정한 인원조직을 산정할 수 있다.

(가) 역무인원

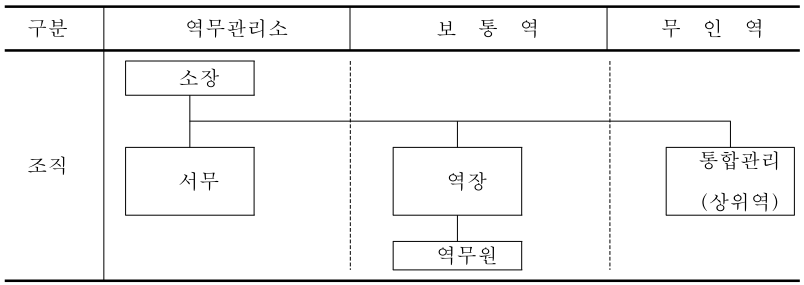
정거장 구분은 역무관리소, 보통 정거장, 무인 정거장 등으로 구분된다.

- 역무관리소 : 관할 정거장에 대한 관리업무를 수행하며, 보통 10개 정거장 정도에 1개소를 설치하나, 관리시스템에 따라 조정할 수 있다.
- 보통 정거장 : 역무원 배치 정거장
- 무인 정거장 : 역무원 무배치 정거장

■ 업무

- 소 장 : 관할구역내의 정거장 업무 총괄 지휘감독
- 역 장 : 담당 정거장 업무총괄
- 역무원 : 업무관리(매표 및 수입금관리, 출개찰감시, 승객안내 및 안전, 구내시설 감시 및 제어, 승객사고처리)
- 서 무 : 역무관리소에 배치 관할 정거장의 통합 행정업무 수행

■ 조직



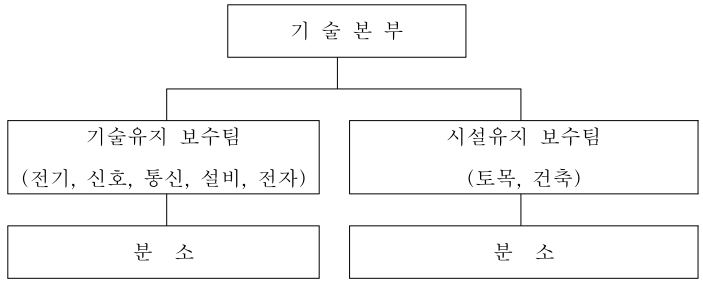
<그림 3.5.15> 역무인원 조직도(무인역은 상위역 또는 관리소에서 통합관리)

(나) 기술보수인원

유지보수인원 계획은 기술(전기, 신호, 통신, 설비, 전자)유지보수인원과 시설(토목, 건축)유지보수인원을 통합하여 운영하는 것으로 계획하였고, 노선연장 약10km정도마다 한 팀의 분소를 설치하는 것을 기준으로 설정하였으나, 유지관리 기술발전, 시설물 점검의 자동화, 원격제어 및 점검시스템의 발달 등을 고려한 합리적 유지보수 조직을 적용할 수 있다.

① 시설유지관리 조직

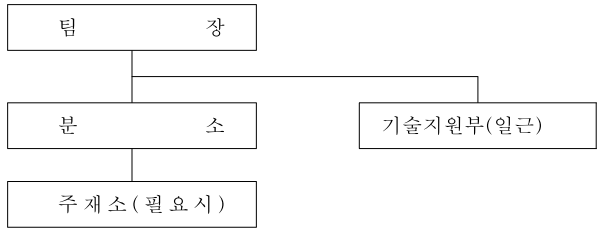
시설유지관리본부를 업무특성을 고려하여 기술유지 보수팀과 시설유지 보수팀으로 구분 계획하고, 각 팀에는 점검 및 보수를 담당하는 분소를 계획하였다.



<그림 3.5.16> 시설유지관리 조직도

② 팀별 조직도

각 팀은 점검 및 보수를 담당하는 분소와 기술지원을 담당하는 기술지원부를 두고 사업특성 및 유지관리 효율 등에 따라 필요시 분소업무의 일부를 담당하는 주재소를 설치 운영하는 것으로 계획하였다.



<그림 3.5.17> 팀별 조직도

③ 업무

■ 기술지원부 업무

- 운영, 유지관리 및 하자보수 총괄
- 자재수급 및 관리
- 공사 발주 및 감독
- 외주용역 관리
- 소관 분소에 대한 업무지도 감독

■ 분소 및 주재소 업무

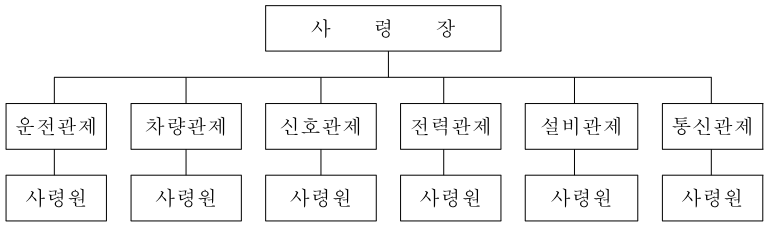
- 관련 시설물 유지관리
- 관련 시설물 운영 및 점검관리
- 긴급보수수행
- 용역업무 감독
- 분야별 유지관리 업무

(다) 종합사령인원

종합사령은 PRT의 안전 운행에 직결되는 중요한 조직으로 통합관리시스템 구축을 통한 인력운영의 효율성 제고 및 관제시스템의 합리적 운영체계 확보를 위하여 조직은 업무특성에 따라 운전, 차량, 전력, 설비, 신호, 통신관제로 나누웠다. 그러나 본 연구는 업무에 따른 일반적 관제조직을 제시한 것이므로 기존 관제조직 활용이나 시스템 특성상 관제인력의 조정이 가능한 경우에는 안전이 확보되는 조건에서 관련 관제조직을 통합 및 조정하여 적용할 수 있다. 차량기지 관제업무는 신호분소에서 통합 운영하는 것으로 계상하였다.

① 조직 및 업무

■ 조 직



<그림 3.5.18> 종합사령인원 조직도

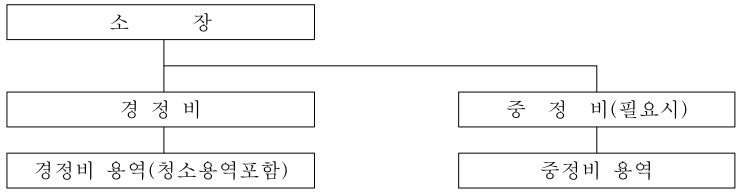
■ 업 무

- 운전관제 : 운행통제, 운전정리, 수송통제, 임시열차운행, 심야 모타카 운행
- 차량관제 : 고장차 응급복구조치(기동검수지휘), 고장차 긴급처리
- 신호관제 : 신호시설 통제 및 감시, 신호장애 및 고장조치 통제
- 전력관제 : 전력시설 통제 및 감시, 전력장애 및 고장조치 통제
- 설비관제 : 설비시설 운영 통제 및 감시
- 통신관제 : 통신시설 및 AFC 통제 및 감시, 장애 및 고장조치 통제

(라) 차량보수인원

차량보수인원은 차량기지 내의 차량 검수, 보수와 본선 내 기동출동, 차량고장조치 등을 수행하며, 인원산정은 국내 운영사례를 반영하여 차량정비 시 주요업무는 직접 수행하고 단순한 일반 작업은 위탁용역으로 수행하는 것을 기준으로 산정하였다. 그러나 최신 시스템 특성, 최신 검수방식의 도입, 위탁계획 등에 따라 적정한 운영방안을 수립하여 적정 인원을 산정할 수 있다. 차량분소인원은 약10~20km정도에 1분소를 설치하고 3인3조 교대근무를 하는 것을 기준으로 검수인원에 포함하여 제시하였다.

① 조직



<그림 3.5.19> 차량보수인원 조직도

② 업무

- 경정비 : 차량 경정비 업무(검수관리/운영, 기술(3M), 검수), 차량분소 업무
- 중정비 : 차량 중정비 업무

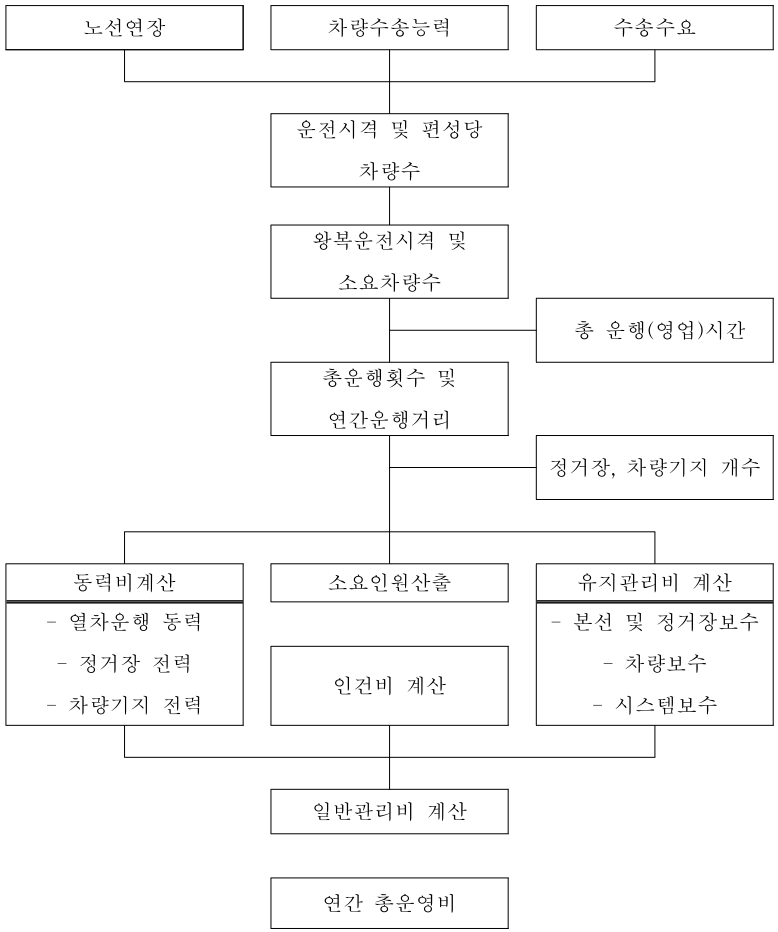
(마) 관리인원

본사 및 현업의 인사, 회계, 기획 및 서무 등의 관리업무를 수행하는 인원으로 기존사례 및 국내 기준들을 검토한 결과를 토대로 총 소요인원이 약 6.3%를 적용하나 규모가 적은 경우는 업무 통합 등을 통하여 최소인원이상을 고려하여 산정한다. 만약 기존 조직을 활용할 경우에는 업무의 중복성을 고려하여 적정히 저감하여 계획하여야 한다.

(4) 운영 및 유지관리비용 추정 절차

(가) 개요

앞서 산정한 차량운행계획과 운영인원을 바탕으로 운영 및 유지관리비용을 추정하는데, 크게 인건비, 동력비, 차량 및 시설유지보수비, 일반관리비로 구성된다. 운행 및 유지관리비 산출 흐름은 다음과 같다.



<그림 3.5.20> 운행 및 유지관리비 산출 흐름도

(나) 인건비

인건비는 연도별 소요인원에 대해 직원 1인당 평균임금을 산정하여 산출하며, 국내의 기존 사례를 분석하여 소요인원수에 대해 평균임금을 산출하여 작용하도록 한다. 기존의 운영기관인 서울도시철도공사, 부산지하철공사 등 유관기관의 2006년 기준 평균임금(제수당, 잡급, 퇴직급여, 복리후생비등 포함)을 고려하여 산정하며 서울도시철도공사의 2007년 기준 평균임금은 59,418천원이다. 단, 용역임금은 지급수수료 항목으로 경비(유지관리비)에 포함 산정 하였다.

(다) 동력비

동력비는 운행에 필요한 동력비와 역사 및 차량기지에 필요한 동력비로 구분하여 산출하되, 차량운행거리당 전력소모량 산정시 시스템의 사용동력을 원 단위를 적용하도록 한다.

① 동력비 산정

동력비는 다음과 같이 계산된다.

동력비 = (연간운행거리×사용동력 원단위+각역당 연간 전력소모량×각역수
+차량기지 연간 전력소모량×차량기지수)×kWh당 단위 전력비 (3.5.16)

- 산업용 전력(병) 선택요금(Ⅱ) 고압A 계약전력 1,000kWh이상으로 산정
- 전력비는 중간부하를 기준으로 적용하며, 사용전력량에 대하여 하계와 타계의 전력요금의 가중평균치를 적용(2007년 기준 64.91원/kWh)
- 기본요금 kWh당 6,072원/월, 사용전략량에 대하여 kWh당 여름은 72.89원/kWh, 봄, 가을철은 50.83원/kWh, 겨울철 56.43원/kWh 적용(2007년 기준)
- 사용동력원단위는 전력소모량은 대략 중량전철 약 8.2kWh/량-km, 경량전철 약 4.8kWh/량-km정도이나, 주행조건, 역간거리, 운행속도, 적용시스템 등에 따라 차이가 크게 발생될 수 있으므로 실제 운영자료가 없는 경우에는 운영 시뮬레이션 등을 통하여 적용시스템의 량당 동력비를 산정하여 적용

② 정거장 전력소모량

정거장별 전력소모량은 정거장계획을 기준으로 소요전력을 산정하여야 한다. 대략 지상,지하 정거장의 전력소모량은 지상정거장은 약 617kWh/년·㎡, 지하정거장은 약 1,131kWh/년·㎡정도인 것으로 나타났다.

③ 차량기지 전력소모량

차량별 차량기지 전력소모량은 차량기지 시설계획에 따라 전력소모량을 산정하여야 한다.

④ 본선 전력소모량

- 영업운전 전력소모량 : 연간운행거리에 단위 편성당 전력소모량을 이용하여 구하나, 실제 전력소모량이 있는 경우 그 값을 활용한다.
- 차량기지 운전소모량 : 차량기지입출고, 검수운행횟수 등을 고려하여 산정하나, 실제 전력소모량이 있는 경우 그 값을 활용한다.

(라) 유지관리비

유지관리비는 기존에 운영되고 있는 국내 실적자료를 이용하도록 하며, 비용 산정시 유지인원에 대한 비용은 앞의 인건비 항목에서 이미 고려되었으므로 인건비를 제외한 순수시설에 대한 유지관리비만 산출한다. 유지관리비는 시스템별로 편차가 크며 동일시스템의 경우도 연장 및 개통연도에 따라 차이가 크기 때문에 일관성 있는 비용을 도출하기 어려움으로 예비타당성시 개략적 분석을 위한 유지관리비를 제시하였으나, 시스템 선정에 따라 적정한 유지관리비를 산정 적용하여야 한다.

도시철도운영기관의 유지관리비용을 조사한 결과 도시철도공사의 유지관리비용은 약 531,380천원/년·㎞인 것으로 조사되었으며, 여기에는 지급수수료, 수선유지비, 감가상각비 등을 포함하여 조사한 것이다.

(마) 일반관리비

일반관리비는 운영 및 사업관리 비용으로서 전체 운영비의 7~10%를 계상한다.

(바) 대체투자비

대체투자비는 사업 시설의 내구연도와 경제성 평가의 분석기간에 밀접한 연관이 있다. 대중교통수단은 도로와 달리 재투자되는 비용이 많이 발생한다. 즉, 수요 증가에 따라 차량이 추가적으로 투입되어야 하며, 내용년수가 경과한 차량 및 시설에 대하여도 재투자가 이루어지게 된다. 따라서 개통 후 30년이 경과한 시점에서 잔존가치로 고려할 수 있는 항목이 용지보상비 이외에도 차량 및 시설장비 등이 있다.

예비타당성조사에서는 이들에 대한 잔존가치를 모두 고려하도록 하며, 철도청(2003)의 철도투자 평가편람에서 제시된 내구연한을 기준으로 하여 재투자 비용 및 잔존가치를 산정하도록 한다. 잔존가치는 철도시설별로 구분하여, 차량은 내용년수가 경과하면 잔존가치를 10%로 반영하며, 나머지 90%의 가치는 분석기간의 내용년수 동안 정액법에 의하여 잔존가치를 10%로 반영하며, 나머지 90%의 가치는 분석가간의 내용년수 동안 정액법에 의하여 잔존가치를 비용에서 차감하도록 한다.

궤도, 신호·통신·전력, 기계 등의 철도시설에 대해서는 내용년수 경과후 잔존가치는 없는 것으로 하고, 분석기간내 내용년수 동안에 정액법에 의하여 잔존가치를 비용에 차감하도록 한다.

<표 3.5.26> 연차별 건설계획

구분	차 량	시 설		
		궤도	신호·통신·전력	기계
내용년수	25	25	20	20

상기 내용년수는 일반적 사항이므로 시스템 개량 및 발달 등으로 인한 내용년수의 증가는 각각의 시스템의 특성을 고려하여 적정한 내용년수를 적용할 수 있다. 이밖에 현실적으로 잔존가치를 산출할 수 있고, 충분한 근거를 명시할 수 있는 경우 가능한 모든 잔존가치를 반영할 수 있다.

라. 차량구입비

(1) 산정기준 및 개요

해당사업의 특성을 고려하여 차량 형식 및 소요차량수를 산정한 다음, 차량별 구입단가를 활용하여 차량구입비를 산정하도록 한다. 차량구입비는 크게 초기 차량구입비와 수요증가에 따른 추가차량 및 내구연한에 의한 노후차량 구입비로 구분되며 차량노후에 따른 차량구입비는 내구연한 기준으로 적용한다. 차량구입비의 산정은 수송수요를 기준으로 소요 차량수를 산정한 후, 필요한 차량을 주문하게 된다. 따라서 차량구입비는 앞에서 산정한 소요 차량수를 기준으로 차량이 필요한 연도의 1년 전에 구입하는 것으로 산정한다.

(2) 차량 운행계획 수립

지역 간 철도와 마찬가지로 도시철도 및 경전철 사업 또한 열차 운행계획 수립을 통해

예측된 수송수요를 충족시킬 수 있는 차량을 구입하고 운행비용을 추정한다. 차량구입계획은 소요차량 수, 차량기지의 규모, 동력비, 유지관리비, 인건비 등의 산출에 필요한 기초자료로 활용되며, 이는 경제성 분석, 재무분석, 재원조달방안 등의 계획수립에 필요한 근거가 된다. 차량의 규격 및 정원은 각 시스템별로 제작사 및 차종에 따라 다소 차이가 있으므로 사업별 선정 시스템에 따라 승차정원 계획을 수립한다.

(가) 수송수요 추정

운행계획 수립 및 운영비 산출을 위해 연도별 최대혼잡구간의 일 수송수요 결과를 근거로 하여 최대혼잡구간의 첨두시, 준첨두시, 비첨두시 수송수요를 추정하며, 추정된 수송수요는 운전시격 및 소요차량수 산정시 기초자료로 활용된다.

(나) 운행(표정)속도

운행(표정)속도는 차량의 운행시간인 주행시간과 정거장 정차시간 및 차량의 감·가속도를 고려한 속도이며 승객의 시간단축에 직접적인 영향을 주는 요소이다. 예비타당성조사 단계에서는 국내외의 사례분석 및 시스템의 특징을 고려하여 표정속도를 가정하도록 하되, 가능할 경우 가급적 TPS 결과를 이용하여 표정속도를 산출하도록 한다. TPS 결과를 이용할 수 없는 경우에는 정거장 거리가 유사한 유사사업의 표정속도를 준용한다. 운행(표정)속도를 산정하는 식은 다음과 같다.

- 운행(표정)속도(km/h) = 노선연장(km)/정차시간을 포함한 총운행시간(h) (3.5.17)

(다) 운전시격

각 시간대의 운전시격은 첨두시는 최대혼잡구간의 수요를 기준으로 혼잡시 수송인원을, 준첨두시와 비첨두시에는 정원시 수송인원을 고려하여 운행계획을 수립하도록 하며, 최소운전시격과 최대 운전시격은 승객의 편의를 위한 서비스측면을 고려하여 각각 2.0분과 10.0분 사이의 값을 갖도록 한다. 시간당 소요 편성수와 운전시격 산정식은 다음과 같다.

- 시간당 필요운행편성수=최대 혼잡구간 첨두시 수요(통행/시·방향)/편성정원 (3.5.18)
- 운전시격(분) = 60분 / 시간당 필요 운행편성수 (3.5.19)

(라) 소요차량수

소요차량수는 첨두시 최대혼잡구간 수요와 표정속도, 노선연장에 따른 왕복운전시간, 회차시간을 이용하여 산출한다. 소요차량수 산정식은 다음과 같다.

- 운행차량소요량 = 왕복 운전시간 / 첨두시 운전시격 (3.5.20)
- 예비운행차량소요량 = 운행차량소요량 × 예비편성(12%) (3.5.21)
- 여기서, 왕복운전시분(분) = 노선연장×2(왕복)×60/표정(운행)속도 +회차여유시간 (3.5.22)

(마) 운행횟수

1일 영업시간(24시간) 중 첨두시, 준첨두시, 비첨두시로 구분하여 운행 횟수를 산출하는데, 차량 운행횟수 산정식은 다음과 같다.

- 차량 운행횟수(회) = 운행시간(분) / 운전시격(분) (3.5.23)

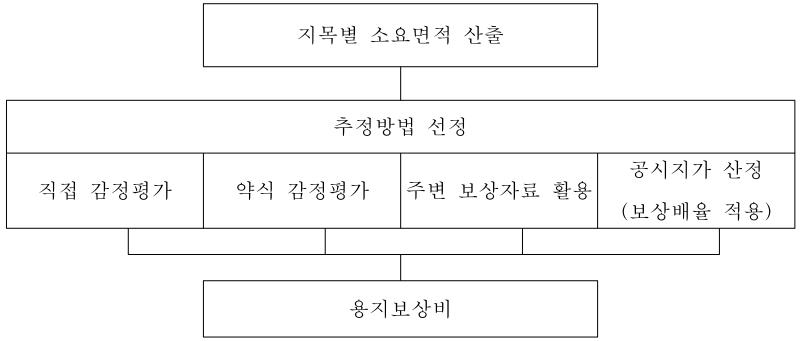
(3) 차량구입비 계상

PRT의 가격은 시스템의 종류 및 수량에 따라 차이가 많아 정확한 값을 적용하는데 한계가 있으므로 유사한 시스템으로 추진되는 지역의 적용사례를 분석하여 차량가격을 산출하며, 연차별 구입계획은 지역간 철도의 경우와 같은 기준을 적용한다.

차량구입비는 크게 초기 차량구입비와 수요증가에 따른 추가차량 및 내구년한에 의한 노후차량 구입비로 구분되는데, 차량 구입은 대부분 주문제작 방식이므로 초기 차량구입비는 준공 3년전부터 개통 전 연도까지 3년간 균등하게 배분하여 계상한다. 추가차량구입비의 산정은 수요를 기준으로 소요 차량수를 산정한 후, 필요한 차량을 주문 구입하게 되므로 차량구입비는 앞에서 산정한 소요 차량수를 기준으로 차량이 필요한 1년 전 구입하는 것으로 전제하여 계상한다. 예를 들어 2010년 개통된 경우 차량내구년수를 25년으로 가정할 경우 2034년 대체차량을 구입하는 것으로 반영한다.

마. 용지보상비 추정

용지보상비는 용지구입비와 지장물보상비를 포함하는 비용을 말한다. 용지보상비 추정과정은 지목별 소요면적을 산출하고 추정방법을 선정한 후 이를 이용하여 지목별 용지보상비를 추정한다.



<그림 3.5.21> 용지보상비 추정과정

용지보상비 추정에 관한 기본원칙은 다음과 같다.

- 첫째, 용지보상비는 용지구입비와 지장물보상비의 합으로 구성된다.
- 둘째, 용지보상비는 성토부와 절토부로 나누어 수행한다.
- 셋째, 노선이 지나는 지장물이나 영농지에 대한 보상비는 토지보상비의 상대적 비율을 감안하여 산출한다.
- 넷째, 실제 용지보상비는 물가 상승 등을 고려하여 보정할 수 있으나, 그 상한값은 통과 노선대의 특성을 고려하여 결정하여 사용한다.

(1) 용지보상면적 산출방법

용지보상면적은 수치지형도를 이용하여 구체적인 물량을 산출하는 방법과 일반지형도를 이용하는 두가지 방법에 의하여 산출한다. 수치지형도를 이용한 전산화 작업의 경우 전산설계 프로그램에서 제공하는 총 편입면적을 세분화하여 산정하도록 한다.

(2) 용지보상비 추정방법

용지보상비 추정방법은 다음의 순서에 따라 가능한 방법을 순차적으로 적용하도록 한다.

(가) 직접 감정평가에 의하는 방법

용지보상비를 추정하는 가장 정확한 방법은 사업지구에 편입된 전체 토지와 지장물에 대해 직접 감정평가를 실시하는 것이다. 직접 감정평가에 의해 용지보상비를 추정하는 경우에는 사업지구 내 편입 토지와 지장물 중 지목이나 용도지역 등 개별 물건의 특성을

고려하여 대표적인 유형에 대해 랜덤하게 표본을 추출하고 (약5%), 이를 직접 감정 평가하여 전체 용지보상비를 추정하는 방안으로 가장 현실적이라고 할 수 있다.

(나) 약식 감정평가에 의하는 방법

사업지구 내 편입 토지와 지장물 중 지목이나 용도지역 등 개별 물건의 특성을 고려하여 대표적인 유형에 대해 랜덤하게 표본을 추출하고(약5%), 한국감정평가협회 또는 한국감정원과의 업무협약을 통해 위 표본에 대해 약식 감정평가를 의뢰하여, 이 결과를 토대로 사업지구 전체의 예상 용지보상비를 추정한다.

(다) 기존 사업지 주변의 보상자료를 활용하는 방법

예비타당성조사를 의뢰한 주무부처 등에 사업지 주변에서 기존에 실시한 보상전례가 있다면 이를 제출토록 해, 이 보상자료를 분석하여 해당 지역에 적용할 보상배율을 추출하는 방법이다. 사업구간을 몇 개 구간으로 나누어 실시하는 경우, 기존 도로나 철도를 확장하는 경우 등 유사 보상전례가 풍부한 사업에 적용할 수 있는 방법이다.

(라) 직접 감정평가에 의하는 방법

약식 감정평가나 사업지 주변에 기 보상자료가 없거나 자료로서 가치가 없는 경우에는 표준적 보상배율을 적용한다. 이때 보상배율은 사업지 내 또는 인근의 지목별 표준지의 공시지가를 적용한다.

먼저, 지역은 수도권과 수도권 외로 구분한 다음 각각을 다시 시부와 군부로 구분한다. 지목은 전, 답, 대지, 임야로 구분한다. 이때 공장용지, 창고용지는 대지에 포함하며, 목장용지와 과수원은 전에 포함한다. 지목이 전, 답, 대지, 임야 이외의 특수한 기타 지목은 전체 지목 중 극히 일부에 지나지 않으나, 대체로 보상배율이 높은 것이 일반적이므로 임야에 포함하여 추정하는 것이 바람직하다. 용지구입비에 가산할 지장물 보상비는 용지구입비의 10~20% 수준으로 하되, 사업여건에 따라 조정하도록 한다. 예비타당성 조사시 사용되는 지역별 지목별 보상배율은 다음과 같다.

<표 3.5.27> 지목별 보상배율

지역	전	답	대지	임야
수도권	시부	1.50	1.50	1.40
	군부	1.75	1.75	1.50
수도권 외	시부	1.75	1.75	1.65
	군부	1.80	1.80	1.65

주 1) 공장, 창고는 '대지' 배율 적용
2) 목장, 과수원은 '전' 배율 적용
3) 특수한 기타 지목은 '임야' 배율 적용

자료 : 한국개발연구원, 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완연구(제5판)』, 2008.

4. PRT 적용 가능지역 분석

가. 유형 검토

PRT 도입을 위하여 선행되어야 할 것은 우선 적용 가능지역의 고유한 특성을 파악하여야하며, 본 연구에서는 PRT도입이 필요한 지역 유형을 다음과 같이 3가지로 제시한다.

- 첫째, 신도시에서의 보조교통수단을 담당하는 지역
- 둘째, 도심재생지역에서의 보조교통수단을 담당하는 지역
- 셋째, 대중교통으로의 접근성·연계성이 취약한 지역

PRT적용 가능지역 선정에 대한 새로운 지역 유형을 제시한 이유는 다음과 같다.

- 기존 도시의 경우 이미 다양한 교통시설이 운영되고 있기 때문에 물리적 여건의 제약 뿐만 아니라, PRT를 도입하더라도 기존 수단으로부터 PRT로의 전환은 미미할 것으로 보임
- PRT는 간선교통수단이 아닌 보조교통수단으로서의 역할을 담당하고 있기 때문에 기존의 대중교통, 특히 지하철 등 간선교통수단의 보조적 수단으로 연계환승을 이용하는 것이 수요에 부합할 것으로 사료됨

각 유형별 도입근거를 살펴보면, 신도시의 PRT도입에 관하여는 TOD(Transit Oriented Development)방식의 적용이 적절할 것으로 사료된다.

- 최근 아랍에미레이트연방의 Masdar 사례가 대표적
- 신도시의 간선교통수단 역시 신교통수단인 GRT, LRT 등을 적용하고, 이를 보조하는 수단으로 PRT를 적용하는 방안이 있음
- 신도시 계획상의 토지이용계획에 따라 새로운 수요를 창출할 수 있음

도시재생지역의 경우 기존 교통수단을 대체할 수 있는 교통수단의 도입을 통해 낙후된 도심의 기능을 회복하는 것이 목적이며, 이를 통해 도시의 물리적 기능뿐만 아니라 경관 등 무형의 도시 기능발전에 일조할 수 있어야 한다.

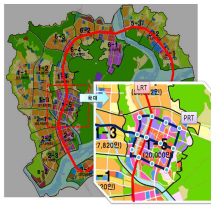
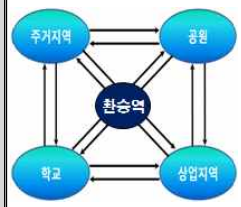
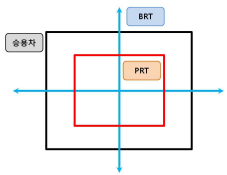
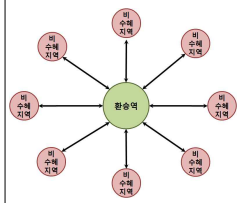
- PRT의 도입으로 도시 및 지역의 랜드마크가 될 수 있으며, 이는 도시 및 지역의 정체성과 대외 이미지 개선에 도움이 될 것으로 보임

대중교통 연계수단으로의 PRT 도입에 관하여는 지선교통량을 주로 담당하는 PRT의 특성상 간선교통수단과의 연결성을 고려하여야 한다.

- 특히 대중교통의 주 기능인 공공성을 감안할 때 도시 근린생활권 중 대중교통 사각지대를 중심으로 정거장을 설치하는 것이 적절함
- 도시철도 등 간선교통수단의 접근성을 제고하는 것이 목적임

표 3.5.28은 PRT 적용대상지역 유형 중 신도시, 도심재생지역, 그리고 대중교통연계지역에 대해 사례분석 대상지역의 개략적 특성에 대해 정리하였다. 유형별로 적용지역의 후보지는 여러 지역이 있으나, 본 연구에서는 대표적인 지역을 선정하여 분석을 실시하였다.

<표 3.5.28> 대상지역 유형구분

구분	신도시	도심재생지역	대중교통연계지역
적용지역	행정중심복합도시	대구 중앙로 대중교통중심지구	서울 노원구 공릉동
노선도			
총 연장 (km)	3.5	2.7	1.6
역 수	12	11	8
역간 거리 (m)	290	250	200
기능	대중교통중심개발(TOD)	중심업무지구(CBD)에서의 내부교통 주축기능	대중교통 비수혜지역의 연계교통 기능
모식도			

나. PRT적용 가능지역 선정기준 개발

(1) 기본방향

최근 도입 움직임이 활발히 일어나고 있는 PRT는 중·단거리 통행을 처리할 수 있는 친환경 교통수단으로 노선의 기능 및 수단특성을 감안해 볼 때, 기존 교통수단의 서비스가 제공되고 있는 지역에서는 PRT를 도입하더라도 수요전환효과는 상대적으로 미미할 것으로 예상된다.

또한, PRT는 다른 대중교통수단과의 경쟁수단이 아닌 접근교통수단의 기능을 중심으로 하여 대중교통의 수혜를 받지 못하는 지역에 접근성을 향상시킬 수 있는 지역을 중심으로 검토되어야 할 것이다.

- 수도권 O/D의 통행특성을 분석한 결과 50%이상이 단거리 통행이 차지하며, 단거리 통행 효율성 제고를 위해 이를 처리할 수 있는 수단도입의 필요성은 점차 높아지고 있음
- PRT의 수단 특성상 역간거리가 200m~300m로 통행의 목적이 대부분 쇼핑, 등하교, 학원 등의 단거리 통행을 주로 처리할 것으로 예상되어 적절한 지역이 선정될 경우 그 효과는 매우 높을 것으로 사료됨

본 연구에서는 PRT수단의 특성을 감안하여 PRT 적용지역을 선정하기 위해 3가지 절차를 제시하며, 세부적인 방법은 다음절에서 검토한다.

- 1단계 : 대상지역 검토단계
  - 1차적으로 대중교통비수혜지역을 지하철 역세권(500m)에 대한 Buffering 분석을 통해 선정
  - 2차적으로 1차 선정된 지역을 대상으로 버스노선수가 적은 지역을 선정
  - 3차적으로 2차 선정된 지역을 대상으로 통행수요가 발생할 수 있는 지역을 선정

- 2단계 : 최소인구규모 결정단계
  - 2단계에서는 노선연장, 정거장, 비용 등을 결정하고, 재무성 분석을 통해 PI>0.3의 조건을 만족하는 지 여부를 판단하고, 적정 운임수입을 창출하기 위한 최소인구규모( )를 결정

- 3단계 : 도입 가능지역 선정단계
  - 3단계에서는 이전단계에서 결정된 최소인구규모(P_m)와 해당지역의 인구와 비교하여 도입가능여부를 결정

(2) PRT 적용가능지역 선정기준

(가) 분석전제

현 투자평가제도 하에서는 경제성분석 결과를 토대로 사업 추진여부를 결정하고 있기 때문에, 본 연구에서는 경제성이 높은 지역의 선정을 위해 다음과 같은 가정을 전제하여 분석을 수행한다.

- 재무성 지수(Revenue/Cost Ratio)값이 0.3이상이어야 경제적 타당성(B/C≥1)이 있는 것으로 가정[9]하여 이를 충족시킬 수 있는 이용수요 규모를 개략적으로 추정
- PRT의 총 비용은 4장의 원단위 비용 산정결과 값과는 별개로 개략적인 분석의 편의를 위하여 km당 단가를 110억원으로 적용
- 분석기간은 개통 후 30년으로 설정하며, 경제성 또는 재무성 분석 시 활용되는 기본적인 지표는 『교통시설투자평가지침(제3판)』에서 제시된 값을 활용

(나) 선정기준

- 제1단계(대상지역검토)
  - GIS Buffering 분석은 필요 시 수행하여 적용
  - 본 연구에서는 대중교통연계수단 분석 시 적용

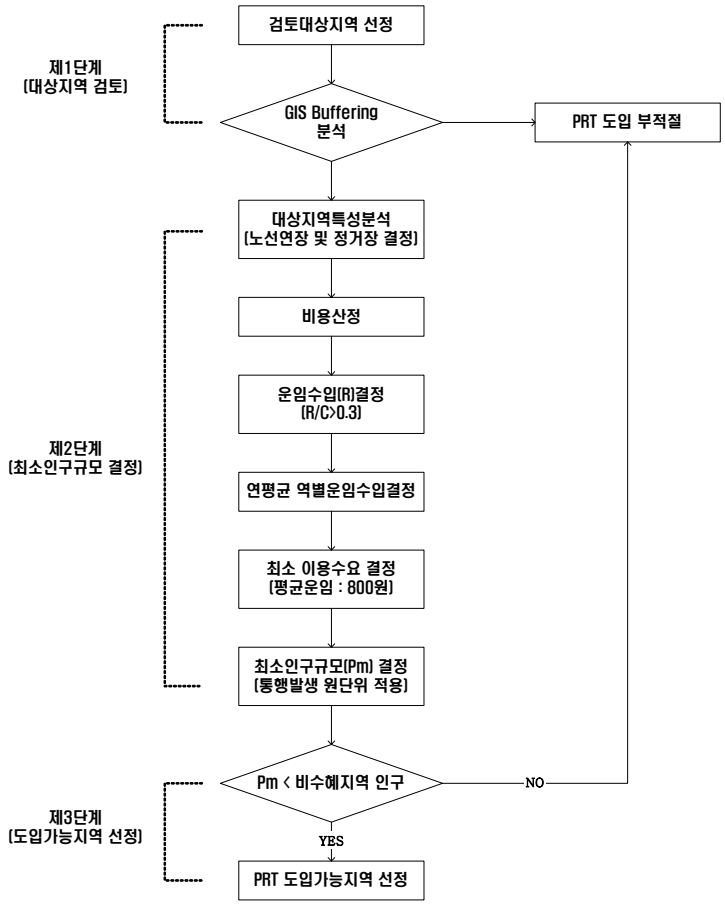
- 제2단계(인구규모결정)
  - 최근 수행된 교통SOC 타당성 조사 결과를 토대로 Meta Analysis를 수행하여 경제성을 확보하기 위한 적정 재무성 지수(PI ≥ 0.3)를 설정
  - PI를 결정 시 투입되는 비용은 시설물 특성, 노선연장, 정거장개수 등에 따라 상이하나, 본 장에서는 적용대상지역을 선정하기 위한 개략적 분석이므로 적정 공사비 단가(원/km)를 가정하여 비용분석을 수행
  - 비용이 결정될 경우 재무성 지수가 0.3을 만족시키는 수입규모를 추정하며, 이를 통해 연평균 수입을 역산하여 도출
  - 도출된 연평균 수입과 평균 정차역 개수를 토대로 역별 평균운임수입(원/년)을 계산
  - 여기서 도출된 역별 평균수입을 거두기 위해 필요한 역간(또는 역별) 이용수요를 추정할 수 있으며, 이는 결국 해당역을 이용하는 통행량을 결정할 수 있음

9) 이 값은 최근 수행된 예비타당성 및 타당성 평가 자료를 토대로 보수적으로 설정

  - 마지막으로 이러한 통행량을 발생시킬 수 있는 해당 지역의 최소 인구규모를 통행발생 원단위[10]를 적용하여 계산

- 제3단계(PRT 도입가능지역 선정)
  - 이용수요예측을 통해 분석된 수요와 제2단계에서 도출된 이용수요 규모를 비교하여 PRT도입 가능지역 여부를 판단

다음의 그림 3.5.22는 이러한 과정을 도식화하여 보여준다.



<그림 3.5.22> 적용지역 선정기준 절차도

10) 해당 존의 총 통행발생량 대비 인구의 비율을 이용하여 계산

다. 사례분석

(1) 신도시 지역

국내 계획되고 있는 신도시 중 본 연구에서는 계획의 구체성 및 실현성을 감안하여 행정중심복합도시를 대상으로 분석하도록 한다.

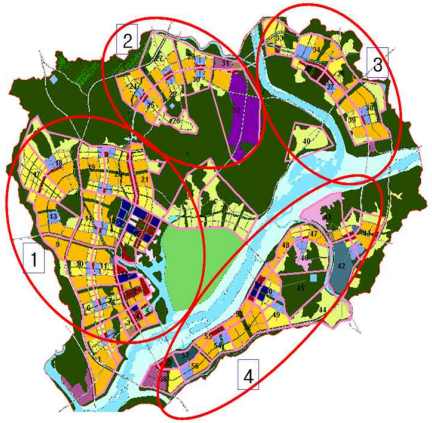
행정중심복합도시의 기본 현황은 다음과 같다.

- 연기군 동면, 금남면, 남면과 공주시 장기면, 청원군 부용면 일원, 총 2,212만 평 대지
- 서울에서 직선거리로 120여km, 대전과는 10km정도에 위치

행정중심복합도시의 단계별 개발 현황 및 추진계획을 요약하면 표 3.5.29와 같다.

<표 3.5.29> 행정중심복합도시의 단계별 개발 현황 및 추진계획

단 계	주요 내용
준비 단계(2003년말)	· 도시구상 및 입지선정평가기준 마련 · 신행정수도건설특별조치법 제정
계획 단계(2007년 상반기) - 하반기 착공	· 2004년 상반기 후보지 평가, 하반기 선정 · 개발계획 수립 및 용지매입 착수
건설 단계(2011년말)	· 부지조성, 공공청사 건축
이전 단계(2012년 이후) 단계적 이전목표	· 중앙행정기관의 단계적 이전 · 주민 입주 개시

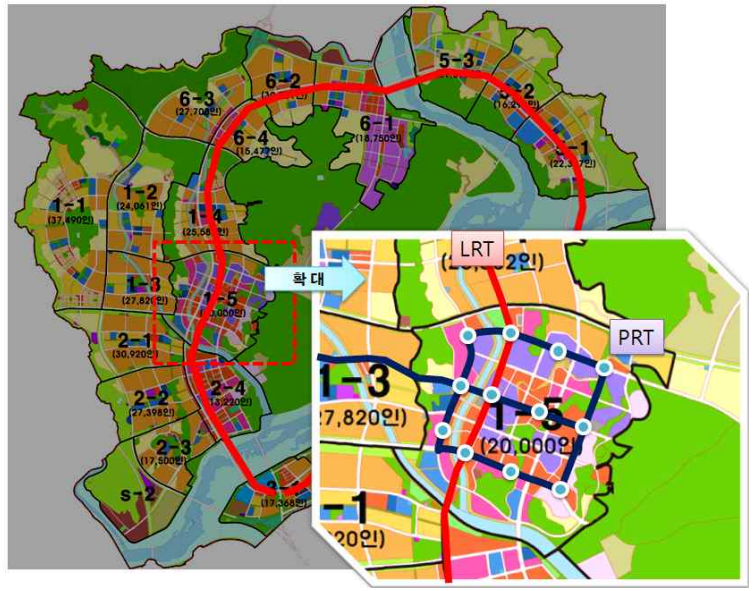


<그림 3.5.23> 행정중심복합도시의 토지이용계획

(가) 선정기준

대상지역의 구체적인 대중교통망계획은 현재 부재하기 때문에 본 연구에서는 신도시의 토지이용계획을 반영하여 대중교통중심(TOD)개발이 될 수 있도록 노선을 선정한다.(그림 3.5.24 참조)

- 예를 들어, 기존의 도로계획 하에 지역내 통행을 PRT로 처리하고 외부통행은 LRT, GRT등으로 처리하는 방안으로 구상



<그림 3.5.24> 행정중심복합도시 제안노선

(나) 이용수요산출

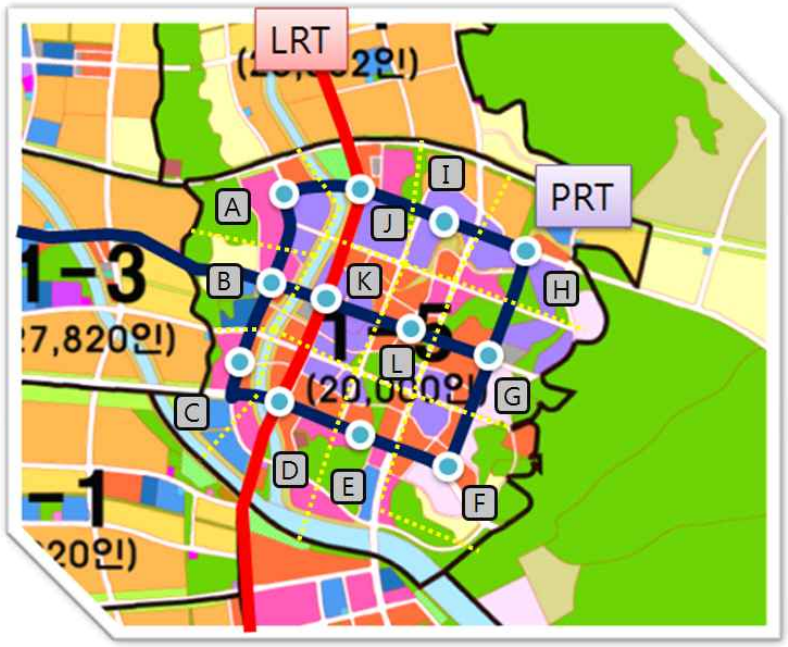
신도시는 다른 유형의 지역처럼 기존의 O/D자료를 활용할 수 없기 때문에 기존 계획에서 제시된 지구별 용도 및 수용인구를 감안하여 통행량을 산정한다.

- 주거↔상업↔공원 및 녹지↔학교↔쇼핑 등과 같이 도시 내의 내부통행을 전담

① PRT노선 및 존(zone)세분화

행정중심복합도시의 여러 지구 중 1-5지구를 사례분석을 위한 대상지역으로 선정하였으며 행정중심복합도시를 운행하는 PRT노선의 현황은 다음과 같다.

- 총 연장거리 : 2.7km
- 역간거리 : 평균 250m
- PRT역 : 12개



<그림 3.5.25> 행정중심복합도시 존 세분화 예시

존(zone)세분화는 하나의 존(zone)안에 PRT역사 한 개가 위치할 수 있도록 통행발생 시설 또는 행정구역을 기준으로 분할하였다.

- 이는 기존의 존 체계(KTDB 등)자료로는 수요를 산정하는데 있어 제약이 따르기 때문
- 현재 통, 반 단위의 인구수를 구하기는 어려우므로 면적에 비례하여 세분

② 대상지역의 O/D 구축

대상지역의 계획인구를 기반으로 일인당 발생통행량(1.5통행/인)을 적용한다.

내부통행량을 산정하기 위하여 인근의 「충남도청이전에 따른 신도시개발 교통영향평가」에서 추정하는 내부통행량 산출 비율[11]을 적용하여 대상지역의 내부통행량 O/D를 산출한다.

내부통행량 O/D =

획인구 20,000인) × 일인당 발생통행량(1.5통행/인) ×내부통행량산출비율(64.8%) (3.5.24)

산출된 대상지역의 내부통행량을 통하여 세부존의 O/D를 구축한다.

세분화된 존(zone)은 전체면적에 대비하여 각 존의 비율을 산정하였다.

- 각 셀에 비율을 곱하여 세분화된 존의 일일통행을 산정

<표 3.5.30> 대상지역 O/D현황

(단위 : 통행/일)

	행정중심복합도시 1-5지구
행정중심복합도시 1-5지구	19,440

<표 3.5.31> 행정중심복합도시 1-5지구 세분화된 O/D

(단위 : 통행/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	계
A	95	163	68	122	225	61	41	136	20	177	204	48	1,361
B	163	280	117	210	385	105	70	233	35	303	350	82	2,333
C	68	117	49	87	160	44	29	97	15	126	146	34	972
D	122	210	87	157	289	79	52	175	26	227	262	61	1,750
E	225	385	160	289	529	144	96	321	48	417	481	112	3,208
F	61	105	44	79	144	39	26	87	13	114	131	31	875
G	41	70	29	52	96	26	17	58	9	76	87	20	583
H	136	233	97	175	321	87	58	194	29	253	292	68	1,944
I	20	35	15	26	48	13	9	29	4	38	44	10	292
J	177	303	126	227	417	114	76	253	38	329	379	88	2,527
K	204	350	146	262	481	131	87	292	44	379	437	102	2,916
L	48	82	34	61	112	31	20	68	10	88	102	24	680
계	1,361	2,333	972	1,750	3,208	875	583	1,944	292	2,527	2,916	680	19,440

11) 『충남도청이전에 따른 신도시개발 교통영향평가』에서는 외부통행비율을 35.2%를 적용

③ 수단분담모형 적용

현재 행정복합도시 내부통행에 대한 수단별 O/D는 부재하기 때문에, 본 연구에서는 예비타당성조사 표준지침에서 제시하고 있는 수단분담모형을 활용하여 버스 O/D를 산출한다.

또한 PRT가 도입될 경우 기존의 수단을 이용하는 수요가 PRT로 전환되는 효과가 발생되며, 본 연구에서는 경쟁수단인 버스이용수요에서 얼마만큼의 수요가 전환되는지를 분석한다.

효용함수를 통해 수단분담율를 계산하기 위해서는 세분화된 각 존간의 거리와 그에 따른 통행시간을 먼저 결정한다.(표 3.5.32, 표 3.5.33 참조)

<표 3.5.32> 행정중심복합도시 존 간 거리

(단위 : km)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	0	0.3	0.7	1	1.4	1.9	1.4	1.2	0.8	0.4	0.6	1
B	0.3	0	0.4	0.7	1.1	1.6	1.1	1.5	1.1	0.7	0.3	0.7
C	0.7	0.4	0	0.3	0.7	1.2	1.7	1.9	1.5	1.1	0.7	1.1
D	1	0.7	0.3	0	0.4	0.9	1.3	1.9	1.4	1	0.5	0.9
E	1.4	1.1	0.7	0.4	0	0.5	1	1.5	1.2	1.5	0.8	0.5
F	1.9	1.6	1.2	0.9	0.5	0	0.5	1	1.4	1.8	1.3	0.9
G	1.4	1.1	1.7	1.3	1	0.5	0	0.5	0.9	1.3	0.8	0.4
H	1.2	1.5	1.9	1.9	1.5	1	0.5	0	0.4	0.8	1.3	0.9
I	0.8	1.1	1.5	1.4	1.2	1.4	0.9	0.4	0	0.4	0.9	0.7
J	0.4	0.7	1.1	1	1.5	1.8	1.3	0.8	0.4	0	0.5	0.9
K	0.6	0.3	0.7	0.5	0.8	1.3	0.8	1.3	0.9	0.5	0	0.4
L	1	0.7	1.1	0.9	0.5	0.9	0.4	0.9	0.7	0.9	0.4	0

<표 3.5.33> 행정중심복합도시 존 간 통행시간

(단위 : 분)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	0.00	0.72	1.68	2.40	3.36	4.56	3.36	2.88	1.92	0.96	1.44	2.40
B	0.72	0.00	0.96	1.68	2.64	3.84	2.64	3.60	2.64	1.68	0.72	1.68
C	1.68	0.96	0.00	0.72	1.68	2.88	4.08	4.56	3.60	2.64	1.68	2.64
D	2.40	1.68	0.72	0.00	0.96	2.16	3.12	4.56	3.36	2.40	1.20	2.16
E	3.36	2.64	1.68	0.96	0.00	1.20	2.40	3.60	2.88	3.60	1.92	1.20
F	4.56	3.84	2.88	2.16	1.20	0.00	1.20	2.40	3.36	4.32	3.12	2.16
G	3.36	2.64	4.08	3.12	2.40	1.20	0.00	1.20	2.16	3.12	1.92	0.96
H	2.88	3.60	4.56	4.56	3.60	2.40	1.20	0.00	0.96	1.92	3.12	2.16
I	1.92	2.64	3.60	3.36	2.88	3.36	2.16	0.96	0.00	0.96	2.16	1.68
J	0.96	1.68	2.64	2.40	3.60	4.32	3.12	1.92	0.96	0.00	1.20	2.16
K	1.44	0.72	1.68	1.20	1.92	3.12	1.92	3.12	2.16	1.20	0.00	0.96
L	2.40	1.68	2.64	2.16	1.20	2.16	0.96	2.16	1.68	2.16	0.96	0.00

산정된 통행시간을 토대로 효용함수를 적용하여 수단별 선택확률을 결정한다.

- 효용함수의 산정에 있어 필요한 수단별 비용 및 시간과 파라미터 및 상수항은 「도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판)」에서 제시하는 대전광역권 수단선택 파라미터와 상수항 값을 적용함

효용함수를 적용한 승용차, 택시, 버스의 선택확률 산정식은 다음과 같다.

$$_{\text{승용차}} \quad \text{간통행시간} \times -0.05069 + \text{승용차의 비용} \times -0.00033 + 0 \tag{3.5.25}$$

$$U_{\text{택시}} = (\text{승용차의 존간 통행시간} + 5\text{분}) \times -0.05069 + \text{택시의 비용} \times -0.00033 - 1.05534 \tag{3.5.26}$$

$$U_{\text{버스}} = (\text{승용차의 존간 통행시간} \times 1.2) + 7\text{분} \times -0.05069 + \text{버스의 비용} \times -0.00033 - 0.65488 \tag{3.5.27}$$

위의 효용함수를 통해 계산된 수단별 선택확률(승용차 : 50.61%, 택시 : 16.12%, 버스 : 33.27%)의 값을 기 세분화 된 O/D에 적용하면 각 수단별 O/D가 생성되며, 최종 도출된 버스O/D는 표 3.5.34와 같다.

<표 3.5.34> 세분화된 존의 버스 O/D

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	계
A	32	55	23	41	74	20	13	45	7	59	68	16	453
B	55	94	39	70	128	34	23	77	12	101	117	27	778
C	23	39	16	29	53	14	10	32	5	42	49	11	323
D	41	70	29	53	97	26	17	57	9	75	88	20	583
E	74	128	53	97	178	48	32	106	16	137	160	38	1,067
F	20	34	14	26	48	13	9	29	4	37	43	10	290
G	13	23	10	17	32	9	6	20	3	25	29	7	194
H	45	77	32	57	106	29	20	66	10	84	96	23	643
I	7	12	5	9	16	4	3	10	1	13	15	3	97
J	59	101	42	75	137	37	25	84	13	111	127	29	841
K	68	117	49	88	160	43	29	96	15	127	147	34	974
L	16	27	11	20	38	10	7	23	3	29	34	8	227
계	453	778	323	583	1,067	290	194	643	97	841	974	227	6,468

전환되는 수요를 구하기 위해 한국철도기술연구원(2006) 연구에서 SP조사를 통해 제시한 대중교통수단 전환율을 사용하였다(표 3.5.35 참조). 2006년 버스요금에서 현재의 버스

요금은 인상되었지만, 현재의 버스이용패턴의 변함이 없을 것으로 가정하여 전환율은 그대로 사용하였다.

<표 3.5.35> 요금수준별 PRT 전환율 산정 결과 값

(단위 : %)

구 분		전환율
2006년 기준	2010년 기준	
800원	1,000원	75.3
1,000원	1,300원	54.7
1,300원	1,700원	13.9

운임이 1,000원일 때, PRT로 전환되는 수요는 표 3.5.36과 같이 나타난다.

<표 3.5.36> 운임 1,000원시 PRT수요

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	계
A	0	41	17	31	56	15	10	34	5	45	51	12	317
B	41	0	29	53	96	26	17	58	9	76	88	20	514
C	17	29	0	22	40	11	7	24	4	32	37	8	231
D	31	53	22	0	73	20	13	43	7	57	66	15	399
E	56	96	40	73	0	36	24	79	12	103	121	28	669
F	15	26	11	20	36	0	7	22	3	28	33	8	208
G	10	17	7	13	24	7	0	15	2	19	22	5	141
H	34	58	24	43	79	22	15	0	7	63	72	17	435
I	5	9	4	7	12	3	2	7	0	10	11	3	72
J	45	76	32	57	103	28	19	63	10	0	95	22	550
K	51	88	37	66	121	33	22	72	11	95	0	26	622
L	12	20	8	15	28	8	5	17	3	22	26	0	165
계	317	514	231	399	669	208	141	435	72	550	622	165	4,323

운임이 1,300원일 때, PRT로 전환되는 수요는 표 3.5.37과 같이 나타난다.

<표 3.5.37> 운임 1,300원시 PRT수요

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	계
A	0	30	12	22	40	11	7	25	4	32	37	9	230
B	30	0	21	38	70	19	13	42	6	55	64	15	374
C	12	21	0	16	29	8	5	17	3	23	27	6	168
D	22	38	16	0	53	14	9	31	5	41	48	11	290
E	40	70	29	53	0	26	17	58	9	75	88	21	486
F	11	19	8	14	26	0	5	16	2	20	24	6	151
G	7	13	5	9	17	5	0	11	2	14	16	4	103
H	25	42	17	31	58	16	11	0	5	46	53	12	316
I	4	6	3	5	9	2	2	5	0	7	8	2	52
J	32	55	23	41	75	20	14	46	7	0	69	16	399
K	37	64	27	48	88	24	16	53	8	69	0	19	452
L	9	15	6	11	21	6	4	12	2	16	19	0	120
계	230	374	168	290	486	151	103	316	52	399	452	120	3,140

운임이 1,700원일 때, PRT로 전환되는 수요는 표 3.5.38과 같이 나타난다.

<표 3.5.38> 운임 1,700원시 PRT수요

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	계
A	0	8	3	6	10	3	2	6	1	8	9	2	58
B	8	0	5	10	18	5	3	11	2	14	16	4	95
C	3	5	0	4	7	2	1	4	1	6	7	2	43
D	6	10	4	0	13	4	2	8	1	10	12	3	74
E	10	18	7	13	0	7	4	15	2	19	22	5	123
F	3	5	2	4	7	0	1	4	1	5	6	1	38
G	2	3	1	2	4	1	0	3	0	3	4	1	26
H	6	11	4	8	15	4	3	0	1	12	13	3	80
I	1	2	1	1	2	1	0	1	0	2	2	0	13
J	8	14	6	10	19	5	3	12	2	0	18	4	102
K	9	16	7	12	22	6	4	13	2	18	0	5	115
L	2	4	2	3	5	1	1	3	0	4	5	0	30
계	58	95	43	74	123	38	26	80	13	102	115	30	798

(2) 도심재생지역

최근 구도심의 활성화하기 위해 각 지역별로 도심재생사업이 활발히 추진되었으나, 많은 지역에서 계획단계에서 중단되거나 아예 추진조차 되고 있지 못하고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 일종의 도심재생사업으로 볼 수 있는 대구광역시 중앙로 대중교통중심지구를 대상으로 사례분석을 수행한다.

중앙로 대중교통중심지구의 기본 현황은 다음과 같다.

- 2009년 1월 12일 국내최초의 대중교통 전용지구로 지정
- 대구지하철 1, 2호선이 교차하는 반월당역에서 경부선 대구역 까지 남북으로 1km 구간
- 종전 왕복 4차로에서 왕복 2차로로 차선이 축소되었으며, 축소된 부분은 버스 쉘터(유개 승강장), 대중교통 및 보행자 몰 등 보행자 친화시설이 설치
- 대중교통이 아닌 다른 차량의 진입을 엄격히 규제하고 있음

중심업무지구(CBD)의 기능 향상을 위한 도심재생사업에 가치를 두고 있다.



<그림 3.5.26> 대구광역시 중앙로 대중교통중심지구 지정 전후 전경

(가) 선정기준

도심재생의 특성상 중심업무지구(CBD)개발로 인한 CBD내의 내부 교통의 주축이 될 수 있는 방안을 모색한다.

- 예를 들어, 대구 중앙로(CBD)처럼 남북축의 중앙로, 동서축의 동성로는 BRT로 처리하고 그 외곽의 내부통행을 PRT가 전담



<그림 3.5.27> 대구광역시 중앙로 대중교통중심지구 제안노선

(나) 이용수요산출

기존의 KTDB O/D를 활용하여 CBD의 특성이 고려된 내부통행을 산출한다.

- 수단O/D가 아닌 상업지구↔업무지구↔상업지구와 같이 CBD의 특성을 고려하여 내부통행을 PRT가 전담할 것으로 가정하고 분석을 수행

① PRT노선 및 존(zone)세분화

대구 중앙로 대중교통중심지구를 운행하는 PRT노선의 현황은 다음과 같이 가정한다. (그림 3.5.28 참조)

- 총 연장거리 : 2.7km
- 역간거리 : 평균 250m
- PRT역 : 11개



<그림 3.5.28> 대구광역시 중앙로 대중교통중심지구 존 세분화 예시

존(zone)세분화는 하나의 존(zone)안에 PRT역사 한 개가 위치할 수 있도록 통행발생 시설 또는 행정구역을 기준으로 분할하였다.

- 이는 기존의 존 체계(KTDB 등)자료로는 수요를 산정하는데 있어 제약이 따르기 때문
- 현재 통, 반 단위의 인구수를 구하기는 어려우므로 면적에 비례하여 세분

② 대상지역의 O/D 구축

『수도권교통본부 2차 배포판 수도권 O/D』 자료를 통하여 PRT노선에 해당하는 지역의 소존 O/D를 기초로 하여 분할된 세부존의 O/D를 구축하였다.

- 수도권 O/D자료의 기준년도는 2007년
- PRT노선에 해당하는 행정동은 성내1동, 2동임

세분화된 존(zone)은 전체면적에 대비하여 각 존의 비율을 산정하였다.

- 각 셀에 비율을 곱하여 세분화된 존의 일일통행을 산정

<표 3.5.39> 대상지역 O/D현황

(단위 : 인/일)

	성내1동	성내2동
성내1동	1,156.87	221.71
성내2동	252.48	884.69

<표 3.5.40> 성내1동 세분화된 O/D

(단위 : 인/일)

	F (9%)	G (11%)	H (16%)	I (18%)	J (21%)	K (25%)	합 계
F (9%)	9.37	11.45	16.66	18.74	21.86	26.03	104.12
G (11%)	11.45	14.00	20.36	22.91	26.72	31.81	127.26
H (16%)	16.66	20.36	29.62	33.32	38.87	46.27	185.10
I (18%)	18.74	22.91	33.32	37.48	43.73	52.06	208.24
J (21%)	21.86	26.72	38.87	43.73	51.02	60.74	242.94
K (25%)	26.03	31.81	46.27	52.06	60.74	72.30	289.22
합 계	104.12	127.26	185.10	208.24	242.94	289.22	1156.87

<표 3.5.41> 성내2동 세분화된 O/D

(단위 : 통행/일)

	A (23%)	B (11%)	C (19%)	D (14%)	E (33%)	합 계
A (23%)	46.80	22.38	38.66	28.49	67.15	203.48
B (11%)	22.38	10.70	18.49	13.62	32.11	97.32
C (19%)	38.66	18.49	31.94	23.53	55.47	168.09
D (14%)	28.49	13.62	23.53	17.34	40.87	123.86
E (33%)	67.15	32.11	55.47	40.87	96.34	291.95
합 계	203.48	97.32	168.09	123.86	291.95	884.69

세분화된 존의 존간 O/D는 표 3.5.42와 같다.

<표 3.5.42> 세분화된 존의 존간 O/D

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	9.37	11.45	16.66	18.74	21.86	26.03	4.59	2.19	3.79	2.79	6.58
B	11.45	14.00	20.36	22.91	26.72	31.81	5.61	2.68	4.63	3.41	8.05
C	16.66	20.36	29.62	33.32	38.87	46.27	8.16	3.90	6.74	4.97	11.71
D	18.74	22.91	33.32	37.48	43.73	52.06	9.18	4.39	7.58	5.59	13.17
E	21.86	26.72	38.87	43.73	51.02	60.74	10.71	5.12	8.85	6.52	15.36
F	26.03	31.81	46.27	52.06	60.74	72.30	12.75	6.10	10.53	7.76	18.29
G	5.23	6.39	9.29	10.45	12.19	14.52	46.80	22.38	38.66	28.49	67.15
H	2.50	3.06	4.44	5.00	5.83	6.94	22.38	10.70	18.49	13.62	32.11
I	4.32	5.28	7.68	8.63	10.07	11.99	38.66	18.49	31.94	23.53	55.47
J	3.18	3.89	5.66	6.36	7.42	8.84	28.49	13.62	23.53	17.34	40.87
K	7.50	9.17	13.33	15.00	17.50	20.83	67.15	32.11	55.47	40.87	96.34

③ 수단분담모형 적용

PRT가 도입되면서 기존의 수단을 이용하는 수요가 PRT로 전환되는 효과가 발생되며 경쟁수단인 버스 등의 이용수요에서 얼마만큼의 수요가 전환되는가를 분석한다.

- PRT의 특성을 감안하여 PRT의 경쟁수단을 버스로 가정하여 기존 서울시 O/D에서 분석대상지역의 수단분담율을 계산한 후 이를 세분화된 수단별 O/D에 적용하여 버스에 대한 기종점 통행량을 산정

전환되는 수요를 구하기 위해 한국철도기술연구원(2006)연구에서 조사된 대중교통수단 전환율을 사용하였다. (표 3.5.43 참조)

<표 3.5.43> 요금수준별 PRT 전환율 산정 결과 값

(단위 : %)

구 분		전환율
2006년 기준	2010년 기준	
800원	1,000원	75.3
1,000원	1,300원	54.7
1,300원	1,700원	13.9

<표 3.5.44> 세분화된 존의 버스 O/D

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	2.32	2.83	4.12	4.64	5.41	6.44	1.81	0.87	1.50	1.10	2.60
B	2.83	3.46	5.04	5.67	6.61	7.87	2.21	1.06	1.83	1.35	3.18
C	4.12	5.04	7.33	8.24	9.61	11.45	3.22	1.54	2.66	1.96	4.62
D	4.64	5.67	8.24	9.27	10.82	12.88	3.62	1.73	2.99	2.21	5.20
E	5.41	6.61	9.61	10.82	12.62	15.02	4.23	2.02	3.49	2.57	6.06
F	6.44	7.87	11.45	12.88	15.02	17.88	5.03	2.41	4.16	3.06	7.22
G	1.96	2.40	3.49	3.93	4.58	5.45	9.20	4.40	7.60	5.60	13.19
H	0.94	1.15	1.67	1.88	2.19	2.61	4.40	2.10	3.63	2.68	6.31
I	1.62	1.98	2.88	3.24	3.78	4.50	7.60	3.63	6.28	4.62	10.90
J	1.19	1.46	2.12	2.39	2.79	3.32	5.60	2.68	4.62	3.41	8.03
K	2.82	3.44	5.01	5.63	6.57	7.82	13.19	6.31	10.90	8.03	18.93

운임이 1,000원일 때, PRT로 전환되는 수요는 표 3.5.45와 같이 나타난다.

<표 3.5.45> 운임 1,000원시 PRT수요

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	계
A	0	2	3	3	4	5	1	1	1	1	2	24
B	2	0	4	4	5	6	2	1	1	1	2	28
C	3	4	0	6	7	9	2	1	2	1	3	40
D	3	4	6	0	8	10	3	1	2	2	4	44
E	4	5	7	8	0	11	3	2	3	2	5	50
F	5	6	9	10	11	0	4	2	3	2	5	57
G	1	2	3	3	3	4	0	3	6	4	10	40
H	1	1	1	1	2	2	3	0	3	2	5	21
I	1	1	2	2	3	3	6	3	0	3	8	34
J	1	1	2	2	2	3	4	2	3	0	6	26
K	2	3	4	4	5	6	10	5	8	6	0	53
계	24	29	40	45	51	58	38	20	33	25	51	414

운임이 1,300원일 때, PRT로 전환되는 수요는 표 3.5.46과 같이 나타난다.

<표 3.5.46> 운임 1,300원시 PRT수요

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	계
A	0	2	2	3	3	4	1	0	1	1	1	17
B	2	0	3	3	4	4	1	1	1	1	2	21
C	2	3	0	5	5	6	2	1	1	1	3	29
D	3	3	5	0	6	7	2	1	2	1	3	32
E	3	4	5	6	0	8	2	1	2	1	3	36
F	4	4	6	7	8	0	3	1	2	2	4	41
G	1	1	2	2	3	3	0	2	4	3	7	29
H	1	1	1	1	1	1	2	0	2	1	3	15
I	1	1	2	2	2	2	4	2	0	3	6	24
J	1	1	1	1	2	2	3	1	3	0	4	19
K	2	2	3	3	4	4	7	3	6	4	0	38
계	17	21	29	32	37	42	28	15	24	18	37	301

운임이 1,700원일 때, PRT로 전환되는 수요는 표 3.5.47과 같이 나타난다.

<표 3.5.47> 운임 1,700원시 PRT수요

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	계
A	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4
B	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	5
C	1	1	0	1	1	2	0	0	0	0	1	7
D	1	1	1	0	2	2	1	0	0	0	1	8
E	1	1	1	2	0	2	1	0	0	0	1	9
F	1	1	2	2	2	0	1	0	1	0	1	11
G	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	2	7
H	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	4
I	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	2	6
J	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5
K	0	0	1	1	1	1	2	1	2	1	0	10
계	4	5	7	8	9	11	7	4	6	5	9	76

(3) 대중교통연계지역

(가) 선정기준

대중교통연계지역은 대중교통의 혜택을 받지 못하는 지역을 우선적으로 검토하여야 한다.

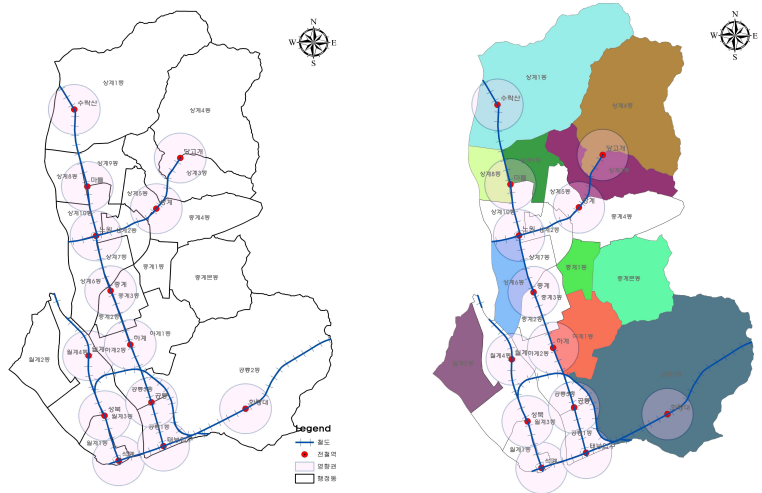
- 1차적 검토사항은 GIS기능 중의 하나인 Buffering Analysis를 통해 대중교통(지하철) 비수혜 지역을 파악
- 2차적 검토사항은 1차적 검토대상지역을 대상으로 버스노선수를 파악하여 버스노선수가 적은 지역을 선정
- 마지막으로는 인구수를 중심으로 2차 검토대상지역을 대상으로 인구수가 가장 많은 지역을 선정

① 1차 선정기준

GIS 기능 중의 하나인 Buffering Analysis를 이용하여 역별로 역세권을 500m로 설정하여 지하철 비수혜지역을 파악한다.

분석결과 총 24개의 행정동 중에서 11개의 행정동이 1차적으로 검토대상으로 선정되었다.

- 상계1동, 3동, 4동, 6동, 8동, 9동, 중계본동, 1동, 하계1동, 월계2동, 공릉2동



< 역세권> <1차 검토대상 지역>

<그림 3.5.29> 1차 검토대상 지역

② 2차 선정기준

1단계에서 선정된 11개의 검토대상지역의 버스노선수를 파악하여 버스 노선수가 적은 지역을 선정한다.

분석결과 11개의 행정동 중에서 6개의 행정동이 2차적 검토대상으로 선정되었다.

- 상계3동, 4동, 중계본동, 중계1동, 월계2동, 공릉2동

<표 3.5.48> 2차 검토대상 지역

구분	버스노선수	순위
상계1동	8	4
상계2동	12	-
상계3동	5	2
상계4동	3	1
상계5동	9	-
상계6동	10	6
상계7동	8	-
상계8동	9	5
상계9동	11	7
상계10동	13	-
중계본동	5	2
중계1동	7	3
중계2동	8	-
중계3동	13	-
하계1동	8	4
하계2동	12	-
월계1동	15	-
월계2동	5	2
월계3동	6	-
월계4동	8	-
공릉1동	10	-
공릉2동	7	3
공릉3동	4	-



③ 3차 선정기준

2차 선정기준에서 선정된 6개의 행정동 중에서 인구수 및 유동인구가 많은 지역을 선정한다.

분석결과 공릉2동의 서울과학기술대학교사거리에서 공릉역까지 연결시키는 PRT순환노선을 제시하였다.

<표 3.5.49> 3차 검토대상 지역

구분	인구수	면적	PRT 순환노선 (예시)
월계1동	24,517	1.16	
월계2동	31,741	1.94	
월계3동	37,259	1.17	
공릉2동	46,730	6.82	
공릉1.3동	41,082	1.41	
하계1동	31,407	1.55	
하계2동	26,527	0.51	
중계본동	30,825	1.97	
중계1동	31,392	0.63	
중계4동	23,476	1.70	
중계2.3동	43,269	0.90	
상계1동	41,644	5.62	
상계2동	22,519	0.61	
상계3.4동	41,604	5.62	
상계5동	24,697	0.44	
상계6.7동	37,916	1.11	
상계8동	27,206	0.67	
상계9동	25,537	0.81	
상계10동	21,268	0.80	



(나) 이용수요 산출

① PRT노선 및 존(zone)세분화

서울과학기술대학교입구↔공릉역을 운행하는 PRT노선의 현황은 다음과 같다.

- 총 연장거리 : 1.6km
- 역간거리 : 평균 200m
- PRT역 : 8개



<그림 3.5.30> 존세분화 예시

존(zone)세분화는 하나의 존(zone)안에 PRT역사 한 개가 위치할 수 있도록 통행발생 시설 또는 행정구역을 기준으로 분할하였다.

- 이는 기존의 존 체계(KTDB 등)자료로는 수요를 산정하는데 있어 제약이 따르기 때문
- 현재 통, 반 단위의 인구수를 구하기는 어려우므로 면적에 비례하여 세분

② 대상지역의 O/D 구축

『수도권교통본부 2차 배포판 수도권 O/D』 자료를 통하여 PRT노선에 해당하는 지역의 소존 O/D를 기초로 하여 분할된 세부존의 O/D를 구축하였다.

- 수도권 O/D자료의 기준년도는 2007년
- PRT노선에 해당하는 행정동은 공릉1동, 2동, 3동임

세분화된 존(zone)은 전체면적에 대비하여 각 존의 비율을 산정하였다.

- 각 셀에 비율을 곱하여 세분화된 존의 일일통행을 산정

<표 3.5.50> 대상지역 O/D현황

(단위 : 인/일)

	공릉1동	공릉2동	공릉3동
공릉1동	2,642	2,508	164
공릉2동	1,593	14,841	1,234
공릉3동	1,003	747	749

<표 3.5.51> 공릉1동 세분화된 O/D

(단위 : 인/일)

	A (45%)	B (55%)	합 계
A (45%)	535.0050	653.8950	1,188.9000
B (55%)	653.8950	799.2050	1,453.1000
합 계	1,188.9000	1,453.1000	2,642.0000

<표 3.5.52> 공릉2동 세분화된 O/D

(단위 : 인/일)

	C (40%)	D (35%)	E (25%)	합 계
C (40%)	2,374.5600	2,077.7400	1,484.1000	5,936.4000
D (35%)	2,077.7400	1,818.0225	1,298.5875	5,194.3500
E (25%)	1,484.1000	1,298.5875	927.5625	3,710.2500
합 계	5,936.4000	5,194.3500	3,710.2500	14,841.0000

<표 3.5.53> 공릉3동 세분화된 O/D

(단위 : 인/일)

	F (15%)	G (50%)	H (35%)	합 계
F (15%)	16.8525	56.1750	39.3225	112.3500
G (50%)	56.1750	187.2500	131.0750	374.5000
H (35%)	39.3225	131.0750	91.7525	262.1500
합 계	112.3500	374.5000	262.1500	749.0000

세분화된 존의 존간 O/D는 다음과 같다.

<표 3.5.54> 세분화된 존의 존간 O/D

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	535	654	451	395	282	11	37	26
B	654	799	552	483	345	14	45	32
C	287	350	2,375	2,078	1,484	74	247	173
D	251	307	2,078	1,818	1,299	65	216	151
E	179	219	1,484	1,299	928	46	154	108
F	68	83	45	39	28	17	56	39
G	226	276	149	131	93	56	187	131
H	158	193	105	92	65	39	131	92

③ 수단분담모형 적용

PRT가 도입되면서 기존의 수단을 이용하는 수요가 PRT로 전환되는 효과가 발생되며 경쟁수단인 버스 등의 이용수요에서 얼마만큼의 수요가 전환되는가를 분석한다.

- PRT의 특성을 감안하여 PRT의 경쟁수단을 버스로 가정하여 기존 서울시 O/D에서 분석대상지역의 수단분담율을 계산한 후 이를 세분화된 수단별 O/D에 적용하여 버스에 대한 기종점 통행량을 산정

전환되는 수요를 구하기 위해 한국철도기술연구원(2006)연구에서 제시된 대중교통수단 전환율을 사용하였다.

<표 3.5.55> 세분화된 존의 버스 O/D

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	89	108	189	166	118	4	15	10
B	108	132	231	202	145	5	18	13
C	153	187	1,138	996	711	24	80	56
D	134	163	996	871	622	21	70	49
E	95	117	711	622	445	15	50	35
F	6	8	12	11	8	2	8	5
G	21	25	40	35	25	8	25	18
H	14	18	28	25	18	5	18	12

<표 3.5.56> 요금수준별 PRT 전환율 산정 결과 값

(단위 : %)

구 분		전환율
2006년 기준	2010년 기준	
800원	1,000원	75.3
1,000원	1,300원	54.7
1,300원	1,700원	13.9

운임이 1,000원일 때, PRT로 전환되는 수요는 표 3.5.57과 같이 나타난다.

<표 3.5.57> 운임 1,000원시 PRT수요

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	합계
A	0	82	142	125	89	3	11	8	460
B	82	0	174	152	109	4	13	9	543
C	115	140	0	750	536	18	60	42	1,661
D	101	123	750	0	469	16	53	37	1,549
E	72	88	536	469	0	11	38	26	1,240
F	5	6	9	8	6	0	6	4	44
G	16	19	30	26	19	6	0	13	129
H	11	13	21	18	13	4	13	0	93
합계	402	471	1,662	1,548	1,241	62	194	139	5,719

운임이 1,300원일 때, PRT로 전환되는 수요는 표 3.5.58과 같이 나타난다.

<표 3.5.58> 운임 1,300원시 PRT수요

(단위 : 인/일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	합계
A	0	59	103	91	65	2	8	6	334
B	59	0	126	111	79	3	10	7	395
C	83	102	0	545	389	13	44	31	1,207
D	73	89	545	0	340	11	38	27	1,123
E	52	64	389	340	0	8	27	19	899
F	3	4	7	6	4	0	4	3	31
G	11	14	22	19	14	4	0	10	94
H	8	10	15	13	10	3	10	0	69
합계	289	342	1,207	1,125	901	44	141	103	4,152

운임이 1,700원일 때, PRT로 전환되는 수요는 표 3.5.59와 같이 나타난다.

<표 3.5.59> 운임 1,700원시 PRT수요

(단위 : 인/일)

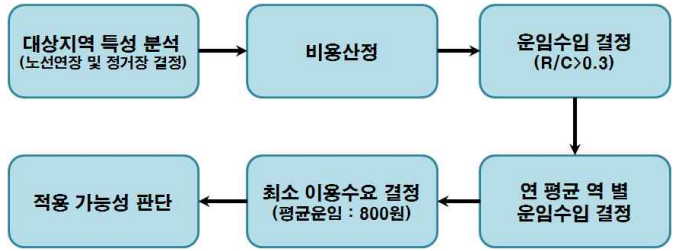
	A	B	C	D	E	F	G	H	합계
A	0	15	26	23	16	1	2	1	84
B	15	0	32	28	20	1	2	2	100
C	21	26	0	138	99	3	11	8	306
D	19	23	138	0	87	3	10	7	287
E	13	16	99	87	0	2	7	5	229
F	1	1	2	1	1	0	1	1	8
G	3	4	6	5	3	1	0	2	24
H	2	2	4	3	2	1	2	0	16
합계	74	87	307	285	228	12	35	26	1,054

라. 적용가능성 판단

본 절에서는 PRT의 수요와 PI가 0.3이 되기 위한 최소이용수요와의 비교를 통하여 대상지역의 적용을 검토한다.

- 대상지역의 PRT 수요가 최소인구규모(Pm)보다 클 경우 적합하다고 판단할 수 있음
- 대상지역의 PRT 수요가 최소인구규모(Pm)보다 작을 경우 부적합하다고 판단할 수 있음

최소이용수요를 결정하여 적용 가능성을 판단하는 과정은 그림 3.5.31과 같다.



<그림 3.5.31> 최소인구규모(Pm) 산정 과정

(1) 최소 이용수요 결정

(가) 비용산정 (Cost)

비용은 공사비, 유지관리비, 운영비, 차량구입비, 용지보상비 등으로 구분될 수 있으나 본 분석에서는 정확한 데이터가 없어 km당 단가를 110억원으로 책정하여 비용을 산정하였다.

- PRT를 건설하는 비용은 총 연장의 km당 단가를 곱하여 총 비용을 산정하고 공사비는 50%, 유지관리비는 10%, 차량구입비는 30%, 기타비용 10%가 투입된다는 가정을 세움
- 예를 들어 PRT노선이 2.7km라고 한다면, PRT의 공사비는 297억원이 되고 여기에 공사비의 항목별 비율을 적용하면 표 3.5.60과 같다.

<표 3.5.60> 총 공사비 (예시)

(단위 :%, 억원)

구 분	비율	금액
공사비	50	148.5
유지관리비	10	29.7
차량구입비	30	89.1
기타비용	10	29.7
총 공사비	100	297

(나) 운임수입 (Revenue)

운임수입은 기본적으로 PRT를 이용하는 수요에 운임을 곱하면 운임수입이 되고 장래의 운임수입은 사회적할인율 5.5%를 적용하여 현재가를 계산하였다.

$$venue = \text{래 기준연도별 } PRT \text{ 수요(인)} \times \text{운임(원)} \quad (3.5.28)$$

$$\frac{\text{운임수입}}{(1+\text{할인율})^{\text{당년도}-\text{초기년도})}} = \text{현재가} \quad (3.5.29)$$

(다) 연평균 이용수요

연평균 이용수요는 PRT사업기간 중 기준년도의 운임수입에 운임을 나눈 연간이용수요 값의 평균치이다.

- 본 연구에서는 한국철도기술연구원(2006) 연구에서 제시한 최저 요금인 800원이지만 현재의 버스요금인 1,000원을 사용
- 또한 일일 평균 이용수요는 연평균 이용수요에 365일을 나눠주면 됨

$$\text{연간이용수요} = \text{기준년도운임수입} \div \text{운임} \quad (3.5.30)$$

$$\text{연평균이용수요} = \text{연간이용수요} \div \text{기준년도갯수} \quad (3.5.31)$$

(2) 적용성 판단

유형별 적용지역의 산정된 PRT수요와 PI≥0.3을 만족시키는 일평균 이용수요와 비교하여 대상지역의 적용성을 판단하였다.

분석결과 행정중심복합도시와 대구 대중교통중심지구에서는 재무성 지수를 만족시킬 수 있는 PRT 이용수요가 부족하여 적절하지 않은 것으로 나타났다.

하지만, 대중교통연계사례로 분석한 공릉동의 경우 수요가 어느 정도 충족되어 분석의 가정을 바탕으로 판단하면 PRT 도입 가능지역으로 선정할 수 있을 것으로 사료된다.

<표 3.5.61> 유형별 적용성 검토

구 분	신도시지역 (행정중심복합도시)	도심재생지역 (대구 대중교통중심지구)	대중교통연계지역 (서울 노원구 공릉동)
비 용(억원)	110		
총 연장(km)	2.7	2.7	1.6
정거장(역) 수	12	11	8
운임수입	800		
연평균 이용수요	6,048,590	1,531,447	531,915
일평균 이용수요	5,524	1,399	1,457
PRT 수요	4,323	414	5,719

5. PRT 도입을 위한 사례 분석

PRT 적용 가능성 분석을 위해 본 과제와 독립적으로 수행되는 PRT 경제성 평가 과제(연구수행기관 : 공공투자연구소)의 연구 추진을 지원하기 위한 일환으로 본 과제에서는 신도시지역 및 도심재생지역의 대표적인 사례로서 송도 신도시 및 상암DMC 지역에 대하여 가상의 PRT 시스템 도입을 가정하여 운영시나리오 및 선호도(SP: Stated Preference) 조사 및 앞서 개발된 PRT 운행제어 시뮬레이터를 이용한 소요차량대수 산정을 수행하였다.

가. PRT 운영 시나리오(가상)

경제성 분석을 위해 송도신도시 및 상암DMC 지역에 가상의 PRT 시스템 도입을 전제로 다음과 같이 각각의 지역에 있어서의 운영노선에 대한 가상의 시나리오를 설정하였다.

(1) 송도 신도시

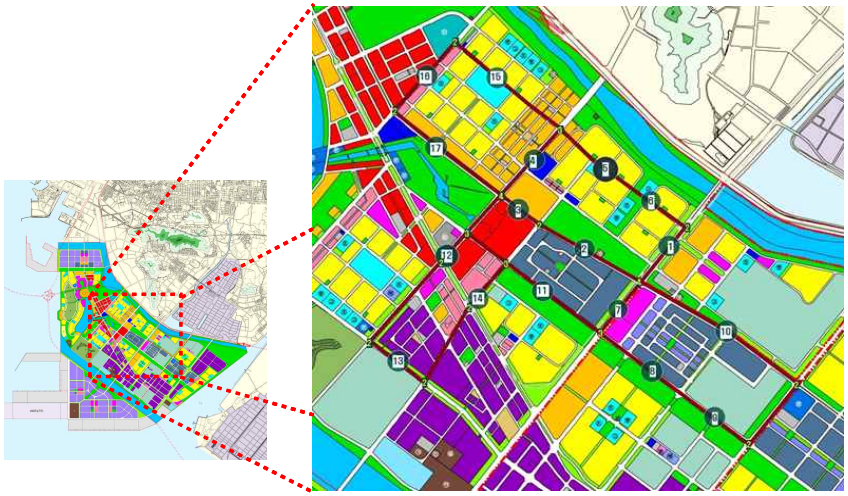
송도 신도시는 공유수면을 매립해 만든 572만 ㎡부지에 2020년까지 3단계에 걸쳐 단계적으로 사업이 진행될 예정이며, 국제업무지구, 시가지조성 어민생활 대책단지, 국제화 복합단지, 첨단산업클러스터, 지식정보산업단지, 바이오단지지구로 구성되어 있다. 장래 교통량 증가로 인한 도로확장 및 신교통 시스템의 도입이 가능한 격자형 도로망으로 구성되

어 있으나, PRT 노선계획이 사전 교통계획에 반영되어 있지 않다는 점은 앞서 정의한 신도시 지역과는 거리가 있다.

송도 신도시 도입을 가정한 PRT 운영 시나리오는 17개의 역사에 대하여 노면 13.9km, 교량 2.9km로 이루어진 총길이 16.7km의 노선으로 이루어지며 그림 3.5.32와 같다.

<표 3.5.62> 송도 신도시 지역 PRT 노선(가상) 개요

총길이	16.7 km	노 면	13.9 km
교 량	2.8 km	역사수	17 개소



<그림 3.5.32> 송도 신도시 PRT 노선(가상)

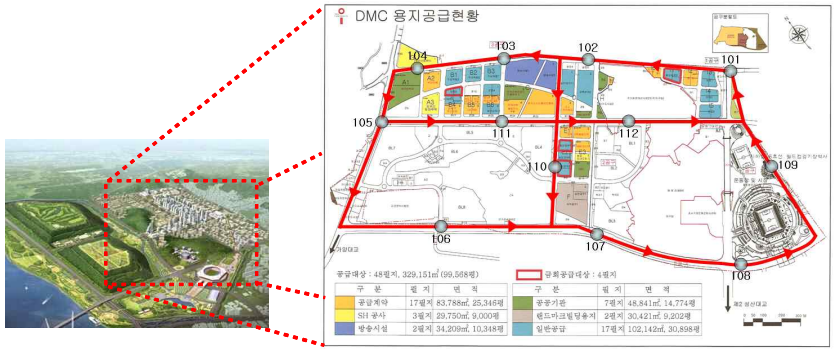
(2) 상암 DMC

상암 DMC는 상암지구와 디지털미디어정거장 사이의 택지로 약 17면 2천평의 규모로 2015년 완공될 예정이며, DMC지구, 상암택지개발지구, 월드컵경기장지구의 총3개 지구로 구분된다. 상암 DMC 지역을 순화하는 도로는 왕복 6~10차로이며, 난지하늘공원과 인접한 도로는 중앙안전지대가 설치되어 있다.

상암 DMC 도입을 가정한 PRT 운영 시나리오는 12개의 역사에 대하여 노면 6.6km, 교량 2.4km로 이루어진 총길이 9km의 노선으로 이루어지며 그림 3.5.33과 같다.

<표 3.5.63> 상암 DMC지역 PRT 노선(가상) 개요

총길이	9km	노 면	6.6km
교 량	2.4km	역사수	12 개소



<그림 3.5.33> 상암 DMC지역 PRT 노선(가상)

나. PRT SP 설문 및 현장 조사

(1) 설문조사기법

(가) SP 조사기법 개요

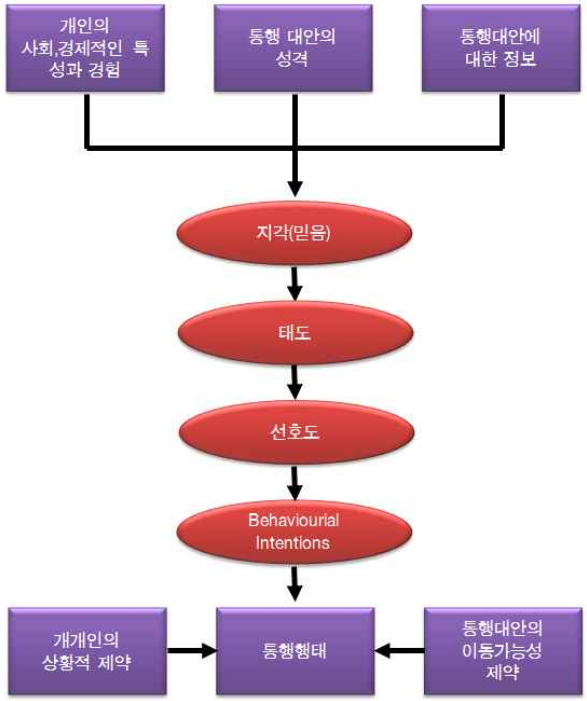
SP 기법은 통계적인 실험계획법을 통해 가상적인 시나리오를 구축하고 그 가상적인 시나리오를 개인에게 제공하여 개인의 선호를 찾는 일련의 기법이라고 정의할 수 있다. 즉 심리적으로 내재되어 있는 개인의 선호를 조사하는 기법이다. 한편, 실제 선호결과(Revealed Preference)와 구별하여 특정 대상과 그 속성에 관해 개인의 선호, 의식, 의향 등의 의사표시를 가정된 상황하에서 구하는 기법으로 정의하기도 한다.

이러한 SP기법의 특성을 요약하면 다음과 같다.

- 개개인의 응답자에게 가상적인 상황에 바탕을 둔 대안을 제공함
- 가상적인 대안은 그 대안을 대표하는 설명변수 즉, 서비스나 특성으로 표현함
- 각 대안 속성은 분석가가 제시하고 일반적으로 응답자의 현재상황에 근거함
- 대안 구성은 일반적으로 실험계획법(Experimental design)에 기초하여 조합
- 응답자들은 각각의 대안에 대해 그들의 선택을 중요도 순서로 순서를 매기거나(Ranking), 어떤 척도로 등급을 매기거나(Rating) 또는 단순히 가장 선호하는 대안

을 선택(Choice)하여 그들의 선호를 표시함

SP 기법의 유용성은 SP 조사자료가 통행자 의사결정에 내재되어 있는 정보를 제공한다는 데 있다. 여기서 의사결정은 통행수단 선택 및 목적지 선택 등 실험계획에 따라 다양하다. 통행자 의사결정에 SP 자료가 수집하는 정보내용을 살펴보기 위해 통행자 의사결정 과정을 그림으로 나타내면 다음과 같다.



<그림 3.5.34> 통행자 의사결정 과정

그림 3.5.34는 통행자의 의사결정 요소가 통행자에 대해서 “외적”(예를 들면 통행 대안의 속성, 선택 순간의 상황적 제약)인 요소와 “내적”(예를 들면 선택대안에 대한 의향, 인식, 선호)인 요소로 구별할 수 있음을 보여주고 있다. 의사결정의 외적인 요소는 통행자가 의사결정을 제약하거나 촉진시키는 역할을 하며 내적인 요소는 대안에 대한 인식과

의사결정을 하는 데 있어, 영향을 미치는 요소를 말한다.

통행자 의사결정 외적인 요소는 분석가가 쉽게 관측할 수 있으나, 통행자 의사결정 내적인 요소는 분석가가 관측할 수 없는 통행자의 심리적 의사결정 요인이다. 분석가가 통행자의 의사결정을 모형화하기 위해서는 이러한 의사결정의 외적인 정보뿐만 아니라 내적인 정보도 필요하다. SP 기법은 이러한 관측되지 않는 내적 의사결정 정보를 파악하기 위해 사용되어진다. 즉 각 대안에 대한 선호와 통행자의 의도(Behavioural intentions)에 대한 정보를 수집하기 위해 SP 기법을 사용한다.

한편, 그림 3.5.34는 SP 기법으로 획득되어진 대안에 대한 선호나 통행자의 의도가 실제 관측되어지는 통행행태와 직접적으로 연결되기 위해서는 개인의 상황제약 요소와 대안의 이용가능성 제약이 고려되어야 한다는 점을 보여주고 있다. 이는 SP 기법에서 도출된 대안에 대한 선호나 통행자 의도가 이러한 제약 조건에 대한 고려 없이는 실제 나타나는 통행행태와 잠재적인 차이가 존재할 수 있음을 설명하는 것이다. McFadden(1986)은 실제 통행행태와 잠재적인 통행수요와의 차이가 발생할 수 있는 SP 기법의 문제점들을 해결하기 위한 대안으로써 SP 조사디자인의 중요성, 이를 분석하는 방법, 그리고 이를 검증할 수 있는 방법이 중요하다고 역설하였다. 즉 McFadden(1986)은 SP 조사를 통해 얻어지는 선호와 통행자의 의도가 실제로 관측되어지는 통행자행태와 직접적인 연관을 가질 수 있도록 SP 조사 디자인은 설계하여야 하고 수집된 SP 자료를 이용하여 실제 행위를 예측할 수 있는 분석방법의 개발이 필수적이라고 주장하였다. 그리고 SP 자료의 유용성이 검증되기 위해서는 SP 자료를 이용하여 예측된 결과와 실제 행위와의 비교작업도 필요하다고 주장한다.

(나) SP 조사기법의 장점

첫째, SP 조사는 연구자가 실험상황을 통제할 수 있다. 즉 RP 자료를 이용하는 경우 연구자의 모든 관심 변수를 고려할 수 없다. 이는 연구자가 관심 있는 변수와는 관계없이 응답자가 제시한 변수와 내용만이 분석될 수 있기 때문이다. 이에 비해서 SP 기법의 경우 연구자의 관심 변수로 구성되어진 가상적인 상황을 응답자에게 제시할 수 있다. 따라서 실제 현실에서는 목격 될 수 없는 다양한 상황 설정이 가능할 뿐만 아니라 관심 없는 변수의 삭제도 가능하다.

둘째, 분석자료 간 독립성을 유지할 수 있다. 예를 들어 어떤 개인의 교통수단 선택에 있어서 시간과 비용을 고려할 때 현실에서는 두 변수 간에 강한 음의 상관관계가 존재할 수 있으며 이에 따라 교통수단 선택에 있어서 개별적인 시간과 비용의 영향을 독립적으로 구하기가 어렵다. SP 기법에서는 실험계획법을 이용하여 이러한 상관관계가

Zero(Orthogonal)가 되고 두 변수 간 교호작용이 없는 질문을 디자인하여 응답자에게 제시할 수 있다.

셋째, RP 자료는 존재하지 않는 상황 하에서는 획득이 불가능하다는 단점이 존재한다. 예를 들어 신교통수단에 대해 교통수요를 예측 하고자 할 때에는 기존 RP 기법을 이용해서는 신교통수단의 교통수요를 추정할 수 없다. 그러나 SP 기법의 경우 가상적인 상황을 제시함으로써 기존 시장에서 존재하지 않는 재화의 수요나 가격에 대한 정보를 획득할 수 있다.

넷째, SP 기법은 일반적으로 RP 기법이 한 개인으로부터 한 개의 자료만을 획득할 수 있는 반면 한 개인으로부터 다수의 자료를 획득할 수 있으므로 조사비용 면에서 효율적이다. 그러나 이는 또한 Repeated measurement 문제를 발생시키기도 한다.

마지막으로 SP 자료를 사용하는 경우 속성변수의 단위가 사전에 정해져 응답자에게 제시되어지므로 자료 입력 또는 모형 구축 시 속성변수 측정오차가 없다는 장점이 존재한다.

(다) SP 조사기법의 한계

이러한 SP 기법의 장점에도 불구하고 최대의 문제점은 가상적인 상황에서 표현된 선호가 과연 실제 행동으로 이어지는가에 대한 의문이다. 예를 들어 어떤 가상적인 상황이 주어진 상태에서 응답자가 특정 선택대안을 선택하고, 그 상황이 현실적으로 나타난다고 할 때 과연 응답자는 일관성 있게 그 선택대안을 선택하겠는가 하는 것이다.

Bonsall(1984)은 SP 자료 수집과 관련된 이러한 Bias를 체계화하였는데 이는 다음과 같다.

- Affirmation bias: 응답자는 의식적/무의식적으로 자기 생각보다는 설문자가 듣기를 기대한다고 생각하는 선호나 선택을 표현하는 경향이 있을 수 있음
- Rationalization bias: 응답자는 자신의 현재 행동을 합리화하고자 하는 시도에서 다소 인위적인응답을 할 수 있음
- Policy response bias: 응답자는 정책이나 의사결정이 자신들의 응답 결과에 근거한다고 믿어 정책에 영향을 주기 위하여 고의적으로 Bias를 유발할 수 있음
- Unconstrained response bias: 응답자는 실제 제약조건을 자신의 행동을 설명하는데 무시하기 때문에 비현실적 방법으로 응답할 수 있음

SP 자료 장점을 살리면서 위와 같은 SP의 한계를 극복하기 위해서는 무엇보다도 제시되어지는 SP의 가상적인 상황이 현실상황과 비슷하도록 디자인하여야 한다. 기존 연구를

보더라도 SP 디자인이 현실상황을 반영하는 경우 SP 자료를 이용한 분석 결과와 RP 자료를 이용한 결과가 유사한 것으로 나타났다.

(2) 설문조사 설계

(가) 설문조사 설계의 개요

SP 기법을 이용한 조사에 앞서 조사설계는 필수적이다. SP 기법을 이용한 조사 시 결정되어야 할 요소는 조사대상 및 표본 수, 응답자 선호표현방법, 선택대안 및 선택대안 수, 선택대안을 설명하는 속성변수, 속성변수 수준 및 수준수, 가상적인 시나리오의 조합방법 및 질문 수 등이다.

본 과업에서는 전문가 자문회의와 Pilot survey를 통해 설문문항 내용의 이해력을 높이고, 조사지 설계상의 오류, 구성상의 오류를 수정하여 적절성을 검증하였으며, 지역적 특성을 반영하기 위해 지역별로 특화된 설문조사지를 설계하여 사용하였다.

설문지 항목은 성별, 연령, 본인사용차량 등과 같은 응답자의 특성을 묻는 항목과 통행목적, 출발/도착지, 선택교통수단 등과 같이 통행특성을 묻는 항목, PRT 도입 시 이용여부, 이용이유, 적정요금, 경쟁수단, 최대지불가능요금 등을 묻는 PRT 진술선호 항목으로 분류하여 설계하였고, 송도신도시의 경우 버스노선 폐지를 가정한 경우에 PRT 진술선호에 대한 항목을 추가하여 설계하였다.



<그림 3.5.35> 설문내용의 구성

(나) 대상지역 선정

본 과업은 건설교통기술평가원에서 발주한 “승객여정선택형 대중교통(PRT) 경제성 평가”의 과제범위에 포함되지 않은 수단분담모형구축을 위한 것이므로, 수단분담모형 구축 대상지역은 “승객여정선택형 대중교통(PRT) 경제성 평가 연구”에서 협의된 PRT 도입가능 지역으로 하는 것을 원칙으로 한다. 본 과업에서는 "승객여정선택형 대중교통(PRT) 경제성 평가“에서 협의된 지역 중에서 신도심과 구도심을 대표할 수 있는 곳을 각기 한 곳씩을 수단분담모형구축 대상지역을 선정하였다.

신도심 지역은 송도신도시로 선정하였으며, 버스노선이 있는 경우와 없는 경우를 시나리오로 설정하여 분석하기로 하였다. 구도심 지역은 여의도-용산, 상암 DMC 지역이 논의되었으나 전문가 자문회의를 통해 상암DMC를 선정하였다.



<그림 3.5.36> 과업의 공간적 범위

(다) 표본 수 산정

SP 표본에 대한 문제는 누구를 조사(조사대상) 해야 하며, 얼마나 많은 사람을 조사(표본수)해야 하는가 두문제로 대변할 수 있다. 이는 RP 기법의 표본선택 및 표본수 문제와 동일하다. SP 조사는 한 개인으로부터 다수의 자료가 획득 가능하다는 점과 가상적인 상황이 제시되는 측면이 RP 조사와 다른 점이며 이러한 측면이 표본수 및 표본 선정에서 고려되어야 한다.

SP 조사의 표본수는 조사비용 및 기간의 한계와 관련이 깊다. 지금까지 SP 조사기법의 적정 및 최소 표본수에 대한 연구가 심도있게 진행된 바는 없으나 기존 외국의 사례(Bradely and Kroes(1990) 연구)를 고려해볼 때 각 segment 별 75에서 100명의 표본수가 필요하다고 알려져 있다.

본 연구에서는 송도신도시와 상암 DMC 지역을 각각 6, 5개의 지역으로 구분하여 450명씩을 1차 설문하였고, 자료의 누락과 부정확성으로 인해 100명씩을 2차 설문을 통해 추가 조사하였으므로, 분석에 요구하는 최소 표본수는 만족한다고 판단된다.

(라) 설문 항목 설계

설문항목 설계에 따라 수단분담모형 구축결과가 크게 달라질 수 있으므로, 설문항목 설계 시 전문가 자문회의와 내부연구진들의 Brain storming을 통해 신중하게 결정하였다.

설문항목을 결정함에 있어 고려한 사항은 다음과 같다.

- 수단분담모형 구축대상지역 특성을 고려
- 전문가 자문회의에서 논의된 수단분담모형 구조에 따른 설문조사 항목 결정
- PRT 이용특성을 고려하여, 해당지역 내부통행과 외부통행 시 지역 내에서 이루어지는 환승지점까지의 접근 통행만을 고려
- 상암 DMC의 경우 규모 및 전철 노선을 고려하여 내부통행 시 이용 가능한 교통수단에서 전철을 제외
- 송도신도시의 경우 버스노선을 유지하는 case와 버스노선을 폐지하는 case의 두 가지 경우를 분석

앞에서 언급한 것과 같이 구축대상지역의 특성 및 규모, 수단분담모형의 구조, 통행형태 등을 고려하여 최종적으로 결정된 설문항목은 아래와 같다.

<표 3.5.64> 최종 설문항목

구분		해당 항목
응답자 특성		성별, 연령, 본인사용차량 유무, 직업, 자동차 보유대수, 월평균가구소득, 거주지/근무지 위치
통행특성	내부통행	통행목적, 출발지/도착지, 선택교통수단, 수단별 통행시간/통행비용
	외부통행	통행목적, 출발지/도착지, 선택교통수단, 환승여부, 환승위치
PRT 진술선호		PRT 이용여부, 이용이유, 이용하지 않는 이유, 적정요금, PRT 경쟁수단, 최대지불가능요금
버스노선 폐지가정*		버스노선 폐지를 가정한 후 PRT 이용여부에 대해 질문

* 송도신도시만 적용

최종적으로 결정된 설문항목을 바탕으로 송도 신도시와 상암DMC의 특성을 고려한 두 종류의 설문조사지를 설계하였으며, 전문가 자문회의를 통해 내용의 적정성을 검토하고, 검토의견을 수렴하여 이를 수정·보완하였다. 또한 연구진들 간의 정기적인 Brain storming 과정을 통해 질문자가 이해하기 쉽고, 일관성 있는 응답을 유도할 수 있는 질문을 작성하도록 노력하였다.

최종적으로 설계된 설문지는 그림 3.5.37부터 그림 3.5.40과 같다.

통행실태 및 신교통수단 선호의식조사

안녕하십니까? 본 설문은 『신교통수단 건설 타당성조사』를 위한 것으로, 시민들에게 보다 나은 교통수단 제공을 위해 의견을 수렴하는 것입니다. 조사된 내용은 본 연구의 기초자료로만 이용되며, 어떠한 목적으로든 다른 용도로서 사용되지 않습니다.

주 관: 한국철도기술연구원 신승권 선임연구원 (031-462-5665)

아주대학교 환경건설교통공학부 유정훈 교수 (031-219-1653)

조사기관: ㈜미래정보

조사양식번호 □-□□□ 조사지점번호 □-□□□ 조사일자: 2011. . . 조사원명:

A. 귀하에 관한 질문입니다.

성 별	① 남 ② 여	연 령	_____ 세	본인사용차량유무	① 유 ② 무
직 업	① 학생	② 회사원	③ 자영업	④ 주부	⑤ 기타
자동차보유대수(가족전체)	① 승용차(대) ③ 화물차(대)		② 승합차(대) ④ 없음		
가구 전체 월평균 소득	① 150만원 미만 ④ 500 ~ 800만원		② 150 ~ 300만원 ⑤ 800만원 이상		③ 300 ~ 500만원
상암DMC/주변지역이 거주지 혹은 직장입니까?	① 예 ② 아니오 → *설문항목 "B" 를 건너뛰고 설문항목 "C" 로 바로 가세요*				

B. 귀하가 최근에 주로 하신 "상암DMC/주변지역" 내에서의 통행에 대한 질문입니다. (조사원이 제시하는 지도를 참고해 주십시오)

통행의 **목적**은 무엇이었습니까?	① 등교(학원) ② 출근 ③ 업무/출장 ④ 쇼핑 ⑤ 친구/친지방문 ⑥ 기타( )	
출발지와 도착지는 어디였습니까?	출발지: ① A ② B ③ C ④ D ⑤ E 도착지: ① A ② B ③ C ④ D ⑤ E	
선택한 교통수단은 무엇이었습니까?	① 승용차 ② 택시 ③ 버스 ④ 도보 ⑤ 자전거/이륜차 ⑥ 기타( )	
교통수단 선택시 **예상한 총 통행시간**은 얼마였습니까?	①승용차(분) ②택시 (분) *이중 대기시간은 얼마입니까?* _____분 ③버스 (분) *이중 정류장까지 접근+대기시간은?* _____분 ④도보 (분) ⑤자전거/이륜차 (분)	
교통수단 선택시 **예상한 총 통행비용**은 얼마였습니까?	①승용차 (원) ← *유류비, 통행료, 주차비, 차량유지비등을 포함* ②택시 (원) ③버스 (원)	

<그림 3.5.37> 상암DMC 조사 설문지 앞면

C. 귀하가 최근에 주로 하신 "상암DMC/주변지역 ↔ 상암 외부지역" 간 통행에 대한 질문입니다. (조사원이 제시하는 지도를 참고해 주십시오)

통행의 **목적**은 무엇이었습니까?	① 등교(학원) ② 출근 ③ 업무/출장 ④ 쇼핑 ⑤ 친구/친지방문 ⑥ 기타( )		
상암DMC/주변지역내의 출발지 또는 도착지는 어디였습니까?	① A ② B ③ C ④ D ⑤ E		
상암DMC 외부지역의 출발지 또는 도착지는 어디였습니까?	_____시(도) _____구(시/군)		
선택한 주된 교통수단은 무엇이었습니까?	① 승용차 ② 택시 ③ 버스 ④ 전철 ⑤ 기타( )		
이때 **교통수단을 갈아타는 환승을** 하셨습니까? (버스→전철, 승용차→버스/전철, 자전거→버스/전철 등)	① 예 → 다음 질문을 답하시오. ② 아니오 → ***응답 "D" 로 바로 가세요.***		
상암DMC/주변지역내 에서 갈아타셨습니까?	① 예 → *이때 주된 교통수단으로/에서 갈아탄 교통수단은 무엇입니까?* ⑧승용차 ⑨택시 ⑩버스 ⑪도보 ⑫자전거/이륜차 ⑬기타( ) ② 아니오		

D. 상암DMC 지역에 신교통수단인 PRT를 건설하여 운영하게 되는 상황에 대한 질문입니다. (PRT에 대한 조사원의 설명과 자료를 참고하여 답하십시오)

"상암DMC/주변지역" 내의 통행시 PRT를 이용하시겠습니까?		① 예 ② 아니오
"상암DMC/주변지역 ↔ 상암 외부지역" 간 통행시 PRT를 이용하시겠습니까?		① 예 ② 아니오
"예"라고 답하신 이유는?	① 새로운 교통수단이어서 ② 정류장 접근이 빠르고 편리해서 ③ 차량정체가 없고 운행속도가 빨라서	② PRT 차량이 쾌적해 보여서 ④ 운영방식(무정차운행)이 편리해서 ⑤ 기타 ( )
"아니오"라고 답하신 이유는?	① 현재 이용 교통수단에 만족해서 ② 정류장 이용이 불편해 보여서 ③ 운행속도가 느려서	② PRT 차량이 좌석수가 적고 비좁아서 ④ 운행 노선이 부족해서 ⑤기타 ( )
PRT 이용요금을 얼마로 가정하시고 "예" 또는 "아니오"라고 답하셨습니까?		_____ 원
PRT가 운영되면 가장 **경쟁이 되는 교통수단은** 무엇이라고 생각하십니까?	① 승용차 ② 택시 ③ 버스 ④ 전철 ⑤ 도보 ⑥ 자전거/이륜차	
PRT 이용요금이 **얼마이상이 되면 경쟁력이 없다고** 생각하시나요?		_____ 원

설문에 응해주셔서 감사합니다. 귀하의 의견은 보다 나은 교통서비스 제공을 위해 소중히 사용하겠습니다.

<그림 3.5.38> 상암DMC 조사 설문지 뒷면

통행실태 및 신교통수단 선호의식조사

안녕하십니까? 본 설문은 『신교통수단 건설 타당성조사』를 위한 것으로, 시민들에게 보다 나은 교통수단 제공을 위해 의견을 수렴하는 것입니다. 조사된 내용은 본 연구의 기초자료로만 이용되며, 어떠한 목적으로든 다른 용도로서 사용되지 않습니다.

주 관: 한국철도기술연구원 신승권 선임연구원 (031-462-5665)

아주대학교 환경건설교통공학부 유정훈 교수 (031-219-1653)

조사기관: ㈜미래정보

조사양식번호 □-□□□ 조사지점번호 □-□□□ 조사일자: 2011. . . 조사원명:

A. 귀하에 관한 질문입니다.

성 별	① 남 ② 여	연 령	_____ 세	본인사용차량유무	①유 ②무
직 업	① 학생 ② 회사원	③ 자영업	④ 주부	⑤ 기타	
자동차보유대수(가족전체)	① 승용차(대) ② 승합차(대) ③ 화물차(대) ④ 없음				
가구 전체 월평균 소득	① 150만원 미만 ② 150 ~ 300만원 ③ 300 ~ 500만원 ④ 500 ~ 800만원 ⑤ 800만원 이상				
송도신도시/주변지역이 **거주지 혹은 직장**입니까?	① 예 ② 아니오 → ***설문문항 "B" 를 건너뛰고 설문문항 "C" 로 바로 가세요.***				

B. 귀하가 최근에 주로 하신 "송도신도시/주변지역" 내에서의 통행에 대한 질문입니다. (조사원이 제시하는 지도를 참고해 주십시오)

통행의 **목적**은 무엇이었습니까?	① 등교(학원) ② 출근 ③ 업무/출장 ④ 쇼핑 ⑤ 친구/친지방문 ⑥ 기타( )	
출발지와 도착지는 어디였습니까?	출발지: ① A ② B ③ C ④ D ⑤ E ⑥ F 도착지: ① A ② B ③ C ④ D ⑤ E ⑥ F	
선택한 교통수단은 무엇이었습니까?	① 승용차 ② 택시 ③ 버스 ④ 전철 ⑤ 도보 ⑥ 자전거/이륜차 ⑦ 기타( )	
교통수단 선택시 **예상한 총 통행시간**은 얼마였습니까?	①승용차(분) ②택시 (분) *이중 대기시간은 얼마입니까?* _____분 ③버스 (분) *이중 정류장까지 접근+대기시간은?* _____분 ④전철 (분) *이중 전철역까지 접근+대기시간은?* _____분 ⑤도보 (분) ⑥자전거/이륜차 (분)	
교통수단 선택시 **예상한 총 통행비용**은 얼마였습니까?	①승용차 (원) ← *유류비, 통행료, 주차비, 차량유지비등을 모두 포함* ②택시 (원) ③버스 (원) ④전철 (원)	

<그림 3.5.39> 송도신도시 설문지 앞면

C. 귀하가 최근에 주로 하신 "송도신도시/주변지역 ↔ 송도외부지역" 간 통행에 대한 질문입니다. (조사원이 제시하는 지도를 참고해 주십시오)

통행의 **목적**은 무엇이었습니까?	① 등교(학원)	② 출근	③ 업무/출장			
	④ 쇼핑	⑤ 친구/친지방문	⑥ 기타( )			
송도신도시/주변지역내의 출발지 또는 도착지는 어디였습니까?	① A	② B	③ C	④ D	⑤ E	⑥ F
송도 외부지역의 출발지 또는 도착지는 어디였습니까?	_____시(도)	_____구(시/군)				
선택한 주된 교통수단은 무엇이었습니까?	① 승용차	② 택시	③ 버스			
	④ 전철	⑤ 기타( )				
이때 **교통수단을 갈아타는 환승을** 하셨습니까? (버스→전철, 승용차→버스/전철, 자전거→버스/전철 등)	① 예 → 다음 질문을 답하시오. ② 아니오 → ***응답 "D" 로 바로 가세요.***					
송도신도시/주변지역내에서 갈아타셨습니까?	① 예 → *이때 주된 교통수단으로/에서 갈아탄 교통수단은 무엇입니까?* ⑧승용차 ⑨택시 ⑩버스 ⑪도보 ⑫자전거/이륜차 ⑬기타( ) ② 아니오					

D. 송도신도시에 신교통수단인 PRT를 건설하여 운영하게 되는 상황에 대한 질문입니다. (PRT에 대한 조사원의 설명과 자료를 참고하여 답하십시오)

"송도신도시/주변지역" 내의 통행시 PRT를 이용하시겠습니까?	① 예 ② 아니오			
"송도신도시/주변지역 ↔ 송도외부지역" 간 통행시 PRT를 이용하시겠습니까?	① 예 ② 아니오			
"예" 라고 답하신 이유는?	① 새로운 교통수단이어서	② PRT 차량이 쾌적해 보여서		
	③ 정류장 접근이 빠르고 편리해서	④ 운영방식(무정차운행)이 편리해서		
	⑤ 차량정체가 없고 운행속도가 빨라서	⑥ 기타 ( )		
"아니오" 라고 답하신 이유는?	① 현재 이용 교통수단에 만족해서	② PRT 차량이 좌석수가 적고 비좁아서		
	③ 정류장 이용이 불편해 보여서	④ 운행 노선이 부족해서		
	⑤ 운행속도가 느려서	⑥ 기타 ( )		
PRT 이용요금을 얼마로 가정하시고 "예" 또는 "아니오"라고 답하셨습니까?	_____ 원			
PRT가 운영되면 가장 **경쟁이 되는 교통수단은** 무엇이라고 생각하십니까?	① 승용차	② 택시	③ 버스	
	④ 전철	⑤ 도보	⑥ 자전거/이륜차	
PRT 이용요금이 **얼마이상이 되면 경쟁력이 없다고** 생각하시나요?	_____ 원			

E. PRT 이용을 활성화하기 위해 송도신도시내 버스운행(노선)을 폐지할 경우에 대한 질문입니다.

"송도신도시/주변지역" 내의 통행시 PRT를 이용하시겠습니까?	① 예 ② 아니오
"송도신도시/주변지역 ↔ 송도외부지역"간 통행시 PRT를 이용하시겠습니까?	① 예 ② 아니오

설문에 응해주셔서 감사합니다. 귀하의 의견은 보다 나은 교통서비스 제공을 위해 소중히 사용하겠습니다.

<그림 3.5.40> 송도신도시 설문지 뒷면

다. 설문조사의 수행

본 과업의 설문조사는 Pilot survey, 1차 본조사, 2차 보완조사, 총 3회의 조사로 이루어졌으며, 이를 통해 조사결과의 신뢰성을 높였다. 조사의 Bias를 최소화하기 위해 조사일시는 평일 12시간을 조사하였으며, 날씨가 맑은 날 조사하는 것을 원칙으로 하였다.

(1) Pilot survey

본 조사를 수행하기 앞서, Pilot survey 과정을 통해 최종적으로 설계된 설문조사지를 실제 적용하였다.

조사는 2011년 4월 26일부터 2011년 4월 28일까지 3일 간에 거쳐 진행되었고, 조사대상은 아주대학교 학생 50명으로 남녀 각각 25명씩 동일하게 조사하였으며, 교통공학을 제외한 전공자들로 하였다. 교통공학 전공자들을 제외한 이유는 다른 전공에 비해 상대적으로 전문용어에 대해 익숙하여, 일반인을 대상으로 하는 설문조사의 Pilot survey 대상으로는 적절하지 않다고 판단되었기 때문이다. 다만, 교통공학 전공자들에게는 별도로 설문지의 구성 및 설계의 문제점을 찾는 인터뷰를 진행하였다.

조사 결과, 불필요한 설문항목과 유사항목의 반복, 응답자의 이해력을 저하시키는 전문용어, 비현실적인 보기 등과 같은 문제점이 발견되었다.

이에 본 연구진은 불필요한 설문항목을 제거하고, 유사한 항목 간의 통합을 통해 설문항목을 최소화하였으며, 응답자의 이해를 높이기 위해 전문용어의 사용을 최소화하였다. 또한, 실현 불가능한 보기들을 제거하였으며, 설문조사지의 구성을 변경하여 응답자들이 보기 편하도록 수정/보완하였다.

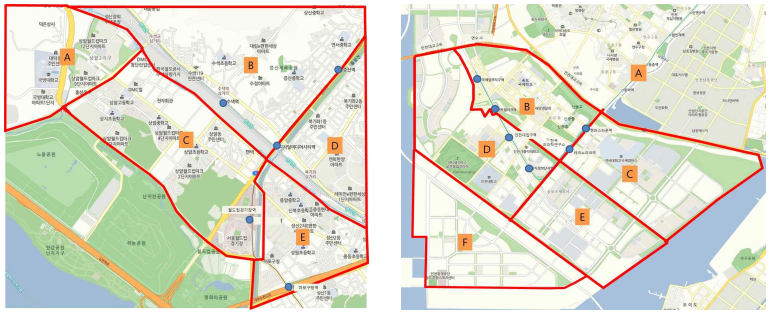
<표 3.5.65> 설문조사지 수정/보완 내용

문제점	수정사항
불필요한 설문항목과 유사항목의 존재	불필요한 항목의 제거와 유사항목의 통합을 통해 설문항목의 최소화
전문용어의 사용	일반인이 이해하기 쉬운 용어로 수정
비현실적인 보기	현실적인 보기들로 구성
시인성이 떨어지는 설문조사지	설문조사지의 구성 변경

(2) 1차 조사(본조사)

Pilot survey를 통해 수정/보완된 설문조사지를 앞에서 선정된 조사지역(송도신도시, 상암 DMC)에 실제 적용하였다. 각각의 대상지역은 도입예정인 PRT 노선을 기반으로 하여 조사대상지역의 경계를 정하고, 원활한 조사를 위해 토지이용, 주요 건물, 인구활동

패턴 등을 고려하여 아래 그림과 같이 구분하였다. 또한, 구분된 지역별로 동일한 표본수를 조사하여 표본들의 공간적 Bias를 최소화하였다.



(a) 상암 DMC (b) 송도 신도시

<그림 3.5.41> 조사대상지역의 구분

또한, 최적의 조사결과를 얻기 위해 조사대상지역 특성을 잘 나타낼 수 있고, 경제성 분석 시 쓰이는 기초자료들과의 호환 가능한 조사결과를 산출할 수 있는 날을 선정해야 한다. 본 연구에서는 대상지역의 환경적 Bias를 최소화하기 위하여 날씨가 맑은 날을 선정하였으며, 현재 예비타당성 조사 및 타당성 평가에서 통용되고 있는 기초자료인 국가교통 DB가 주중 통행을 기준으로 작성되었으므로, 본 조사도 공휴일 및 주말이 아닌 평일에 조사를 수행하였다. 조사는 2011년 5월 11일부터 2011년 5월 12일(12시간) 양일간에 거쳐 송도신도시와 상암 DMC 지역별로 각각 450명씩 조사하였다. 조사결과를 개략 분석해 본 결과 조사자들의 교육부족과 응답자들의 비일관적인 응답으로 인해 내부통행특성 설문항목에 대한 미응답 인원이 과다한 문제점이 분석되었다.

(3) 2차 조사(추가조사)

1차 본조사에서 발생한 내부통행특성 설문항목에 대한 미응답인원이 과다한 문제점으로 인해 분석의 신뢰도가 저하될 것으로 판단되어, 조사자 교육을 재실시하고, 응답자들에게 충분한 설명자료를 제공할 수 있게 보완하여 2차 추가 조사를 실시하였다. 조사는 2011년 5월 18일(12시간)에 실시하였으며, 조사대상지역은 1차 본조사와 같으나 설문인원은 두 지역 모두 100명으로 하였다. 또한, 설문항목은 미응답인원이 많은 내부통행 특성을 묻는 질문을 집중적으로 조사하였다.

라. 설문조사 결과분석

(1) 응답자 특성

(가) 성별

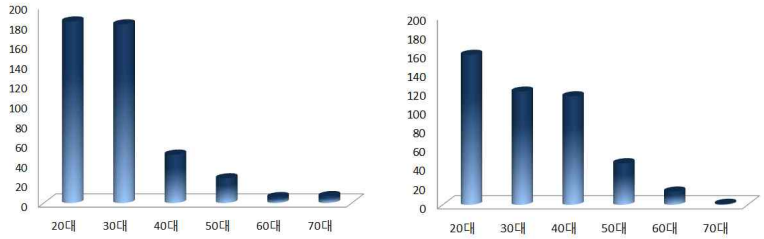


(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.42> 남녀구성비율

상암DMC의 남녀 구성비율을 살펴보면 유효 응답자 456명 중 남성은 207명, 여성은 249명으로 각각 48%와 52%로 관측되었으며, 송도의 경우 유효 응답자 458명 중 남성은 238명, 여성은 220명으로 각각 52%와 48%로 관측되었다

(나) 연령



(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.43> 연령대별 분포

상암DMC의 연령대별 분포를 살펴보면 유효 응답자 365명 중에 20대는 184명, 30대는 181명으로 20대와 30대가 70% 이상을 차지하고 있었고, 송도신도시 지역은 유효 응답자 453명 중에 20대는 159명, 30대는 120명, 40대는 115명으로 20대, 30대, 40대가 전체 응답자의 약80%를 차지하고 있는 것으로 관측되었다.

(다) 차량소유여부

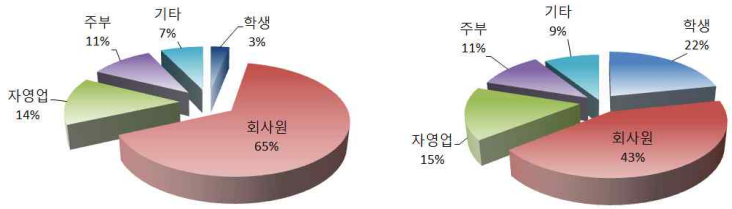


(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.44> 차량소유여부

차량 소유 여부를 묻는 질문에 상암DMC의 유효 응답자 443명 중 210명이 '있다', 233명이 '없다'라고 응답하였고, 동일한 질문에 송도의 유효 응답자 437명 중 224명이 '있다', 213명이 '없다'라고 응답하여 차량의 소유는 거의 비슷한 비율을 보이는 것으로 나타났다.

(라) 직업



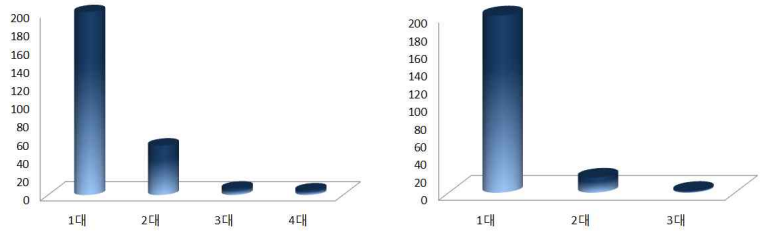
(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.45> 직업군 분포

상암DMC의 직업군 분포를 살펴보면 유효 응답자 306명 중에서 회사원은 292명, 자영업 63명으로 회사원이 전체의 65%를 차지하고 있는데 이는 상암 DMC 지역에 위치하고 있는 업무지구 및 주거지구로 인해 회사원의 비율이 높은 것으로 판단된다.

반면 송도의 직업군 분포를 살펴보면 유효 응답자 450명 중에서 회사원은 192명이고 학생은 98명으로 학생의 비율이 상대적으로 높은 것으로 나타났는데 송도 지역에 위치하고 있는 대학교들의 영향으로 판단된다.

(마) 자동차 보유대수



(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.46> 가구당 차량 보유대수

상암DMC의 자동차보유대수를 살펴보면 유효 응답자 459명에서 가구당 자동차를 1대 보유하고 있는 응답자들이 393명으로 약 86%를 차지하고, 송도는 유효 응답자 444명 중에서 가구당 자동차를 1대 보유하고 있는 응답자들이 425명으로 약 90%이상 차지하는 것으로 관측되었다.

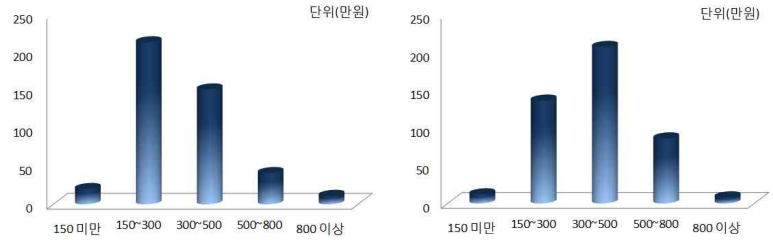
응답결과를 통해 각 지역의 가구당 평균 자동차보유대수를 산출해본 결과 상암 DMC는 가구당 평균 1.18대, 송도는 가구당 평균 1.05대로 나타났다. 이를 아래 표에 제시된 지역별 가구당 평균 자동차 보유대수와 비교과 비교해봤을 때 상대적으로 높은 값을 보이는 것을 알 수 있다.

<표 3.5.66> 지역별 가구당 평균 자동차 보유대수

구분	가구 수(세대)	자동차보유대수(대)	가구당 평균 자동차 보유대수 (대/세대)
전국	19,865,179	17,941,356	0.90
수도권	29,676,306	26,037,618	0.88
경기도	4,527,282	4,189,151	0.93
서울특별시	4,224,181	2,981,400	0.71
인천광역시	1,059,664	925,711	0.87

자료: 국가통계포털

(바) 가구 월평균소득



(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.47> 가구 월평균 소득

가구전체의 월평균 소득을 묻는 질문에 상암DMC의 경우 유효 응답자 436명 중에서 월평균 소득이 150~300만원 사이가 213명으로 가장 높고 300~500만원 사이도 151명으로 관측되었고, 송도의 가구전체 월평균 소득을 살펴보면 유효 응답자 449명 중에서 월평균 소득이 300~500만원이라고 대답한 응답자 수가 207명으로 가장 높은 수치를 보였다.

(사) 거주지/직장의 조사지역 근접성 여부



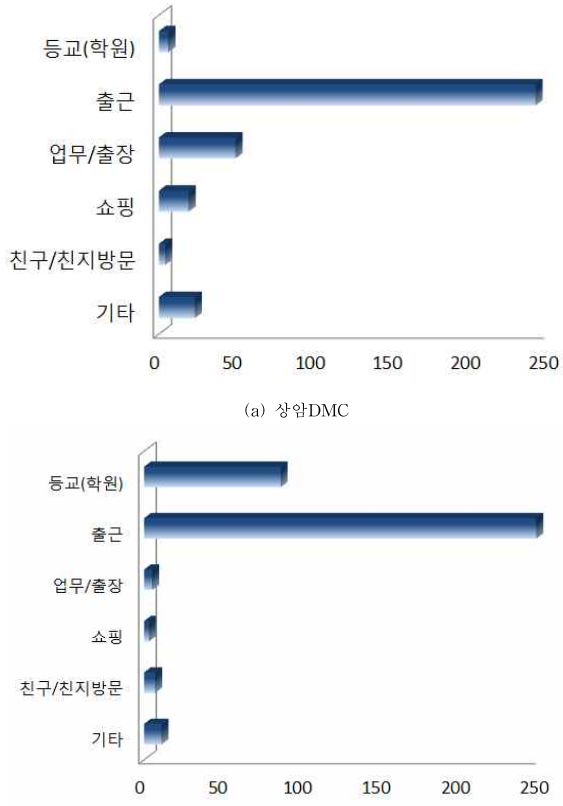
(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.48> 거주지/직장의 조사지역 근접성 여부

거주지/직장의 조사대상지역과 근접성을 묻는 질문에 상암 DMC 지역의 경우 유효 응답자 436명 중 75%에 해당하는 332명이 조사대상지역내에 거주지/직장이 위치하고 있는 것으로 응답하였고, 송도는 유효 응답자 456명 중 79%에 해당하는 359명이 조사대상지역 내에 거주지/직장이 위치하고 있는 것으로 응답하였다.

(2) 내부통행 특성

(가) 내부통행의 목적



(a) 상암DMC

(b) 송도신도시

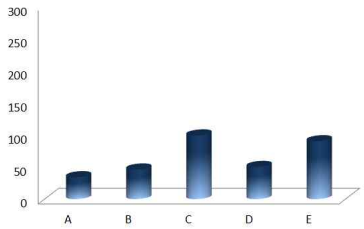
<그림 3.5.49> 내부통행의 목적

통행목적을 묻는 질문에 상암DMC의 경우 전체의 70.5%가 출/퇴근이라고 답하였고, 송도의 경우 전체의 69%가 출/퇴근이라고 답하였고, 송도의 경우 등교의 목적을 가진 응답자가 전체의 24%로 상암DMC에 비해 상대적으로 높은 것으로 관측되었다. 이는 직업별 분포에서 학생의 비율이 상대적으로 높은 것과 같이 송도신도시 지역 내 위치하고 있는 학교들에 영향으로 판단되며, 논리적으로 일치한다.

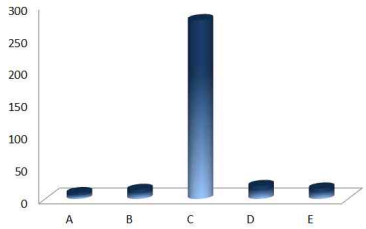
(나) 상암 DMC 내부통행의 출발/도착지



(a) 상암 DMC 조사지역 구분도



(b) 출발지



(c) 도착지

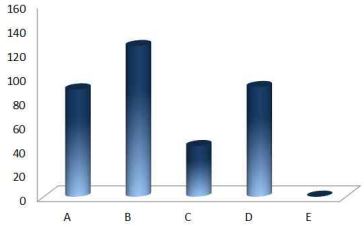
<그림 3.5.50> 상암 DMC 내부통행 출발/도착지 분포

상암DMC의 내부통행에 대한 출발지와 목적지의 분포를 살펴보면 출발지는 A~E 지역이 고르게 분포되어 있는 반면 도착지의 경우 유효응답자 336명 중 277명의 도착지가 C라고 응답하였다. 이는 C 지역에 다수의 업무시설, 학교, 상업시설 등이 위치하고 있기 때문이다.

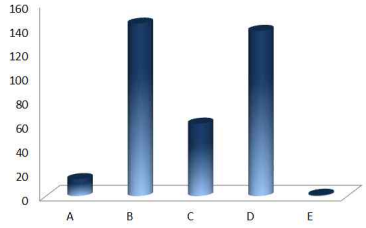
(다) 송도신도시 내부통행의 출발/도착지



(a) 송도신도시 조사지역 구분도



(b) 출발지



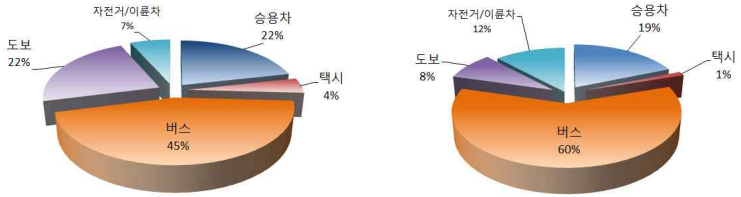
(c) 도착지

<그림 3.5.51> 송도신도시 내부통행 출발/도착지 분포

송도의 내부통행에 대한 출발지와 도착지를 살펴보면 125명의 응답자가 B지역, 91명의 응답자가 D지역, 89명의 응답자가 A지역을 출발지로 가진다고 응답하였으며, 143명의 응답자가 B지역, 137명의 응답자가 D지역을 도착지로 가진다고 응답하였다.

여기서, B지역이 높은 이유는 B지역이 대학가이며, 상업시설 및 주거시설 등 복합적인 기능을 수행하는 지역이기 때문으로 판단되며, E지역을 출발지/도착지로 가지는 통행이 거의 없는 것은 E지역의 경우 송도국제신도시 아직 공사 중인 지역이기 때문이다.

(라) 내부통행의 수단분담률



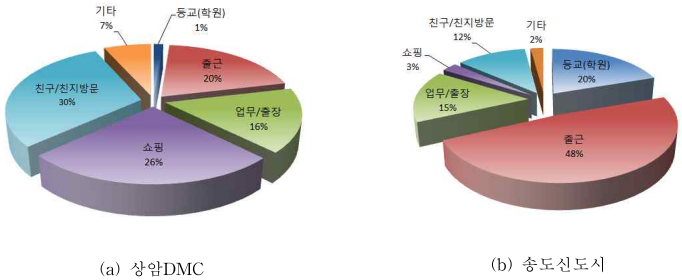
(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.52> 내부통행의 수단분담률

내부통행의 수단 중 분담률이 가장 높은 것은 버스로 상암 DMC와 송도지역이 각각 45%와 60%로 관측되었고 상암 DMC의 경우 도보가 22%로 송도 8% 비해 높은 값을 보이는 데, 이는 조사대상지역으로 설정한 규모가 송도에 비해 작기 때문으로 판단된다.

(3) 외부통행 특성

(가) 외부통행의 목적



(a) 상암DMC (b) 송도신도시

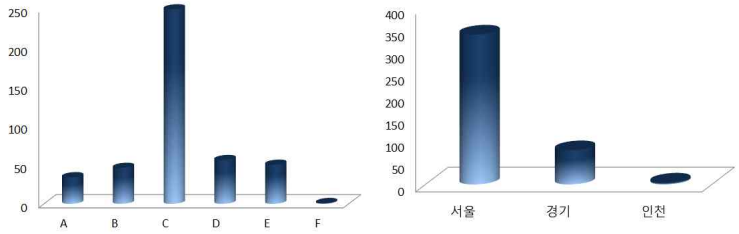
<그림 3.5.53> 외부통행목적 분포

상암DMC의 외부통행의 목적을 살펴보면 친구/친지방문 및 쇼핑이 높은 비율을 보이며, 출근, 업무, 기타, 등교 순서로 높은 결과가 관측되었고, 송도의 외부통행 목적은 출근이 48%로 가장 높은 비율을 보이며, 그 다음으로 등교, 업무/출장, 친구/친지방문, 쇼핑, 기타의 순서로 높은 비율을 보인다.

상암 DMC의 경우 출근의 목적을 가진 통행이 송도에 통행에 비해 상대적으로 작은

값을 보이는 것은 상암 DMC에 업무시설이 높은 비율로 분포하고 있으며, 송도에 비해 직주 거리가 짧기 때문으로 판단되며, 이는 응답자 특성과 내부통행의 특성을 묻는 질문에서 유추 가능하다. 또한 상암 DMC의 경우 쇼핑의 목적을 가진 통행이 송도에 비해 상대적으로 높은 것은 송도의 경우 대규모 쇼핑몰과 상업시설 등이 다수 분포하고 있어, 쇼핑의 수요를 내부에서 처리 가능하기 때문으로 예상된다.

(나) 상암 DMC 외부통행의 출발/도착지



(a) 조사지역 내부 통행단 (b) 송도신도시

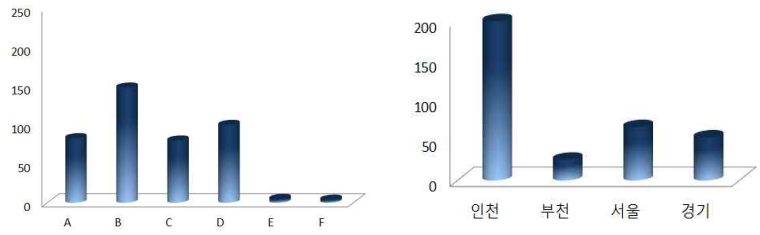
<그림 3.5.54> 상암 DMC 외부통행 출발/도착지 분포

<표 3.5.67> 조사지역 외부 통행단 분포

지역	비율	지역	비율
서울강남	5.01%	서울서초	0.95%
서울강동	0.95%	서울성동	0.72%
서울강북	0.48%	서울성북	0.48%
서울강서	1.19%	서울송파	1.43%
서울관악	1.91%	서울양천	1.67%
서울광진	0.95%	서울영등포	3.34%
서울구로	0.95%	서울용산	0.72%
서울금천	0.48%	서울은평	12.17%
서울노원	0.72%	서울종로	1.91%
서울동대문	0.95%	서울중	1.43%
서울동작	0.24%	서울중랑	0.72%
서울마포	25.30%	경기	18.38%
서울서대문	15.99%	인천	0.95%
합계		100.00%	

상암DMC의 외부통행에 대한 통행단(출발지/목적지)을 묻는 질문에 조사대상 지역 내에서는 C 지역이 가장 높고, 조사대상 외부지역의 통행단은 서울시 내부의 경우 마포구 및 서대문구 은평구가 높은 것으로 분석되었다

(다) 송도신도시 외부통행의 출발/도착지



(a) 조사지역 내부 통행단 (b) 조사지역 외부 통행단

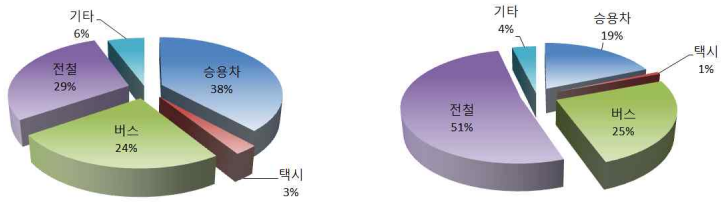
<그림 3.5.55> 송도신도시 외부통행 출발/도착지 분포

<표 3.5.68> 조사지역 외부 통행단 비율

지역	비율	지역	비율
인천강화	0.98%	인천송도	0.25%
인천계양	3.93%	인천연수	22.36%
인천남	8.11%	인천중	2.70%
인천남동	10.57%	부천	6.39%
인천동	2.46%	서울	16.46%
인천부평	8.11%	경기	13.27%
인천서	4.42%	합계	100.00%

송도의 외부통행에 대한 통행단(출발지/목적지)을 묻는 질문에 조사지역 내에서는 B지역, D지역, A지역, C지역 순으로 높은 것으로 분석되었으며, 조사지역 외부에서는 인천시 내부의 경우 연수구, 남동구가 높은 것으로 분석되었다.

(라) 외부통행의 교통수단 분담률



(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.56> 외부통행의 교통수단 분담률

상암 DMC 조사지역 외부통행에 대한 선택 수단을 묻는 질문에 승용차 38%, 전철 29%, 버스 24%, 택시 3%, 기타 6%의 순의 결과를 보였으며, 다음 표에서 제시하고 있는 서울시 수단분담률에 비해 승용차의 수단분담률이 높은 것으로 분석되었다.

<표 3.5.69> 서울시 수단분담률 현황

구분	승용차	버스	지하철	택시	기타
수단분담률	26.2%	27.6%	34.7%	6.3%	5.1%

자료: 국가통계포털

송도 지역이 경우 동일한 질문에 전철 51%, 버스 25%, 승용차 19%, 기타 4%, 택시 1%의 순의 결과를 보였으며, 표 5에서 제시하고 있는 인천시 수단분담률에 비해 지하철의 수단분담률이 월등히 높은 것으로 분석되는 데, 이는 송도 지역 내부를 통과하는 인천지하철 1호선의 영향으로 판단된다.

<표 3.5.70> 인천시 수단분담률 현황

구분	승용차	버스	지하철	택시	기타
수단분담률	42.7%	26.1%	14.7%	7.0%	9.6%

자료: 국가통계포털

(마) 외부통행의 환승여부

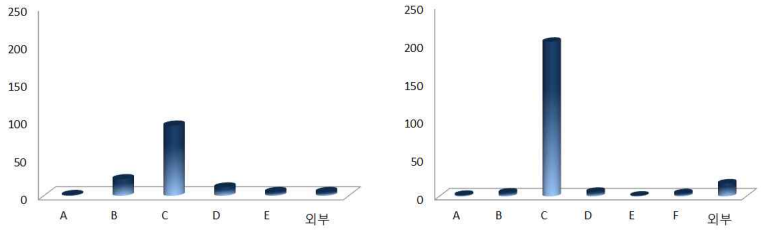


(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.57> 외부통행시 환승여부

외부통행 시 환승 여부를 묻는 질문에 상암 DMC의 경우 “예”라고 대답한 비율은 30%이고, “아니오”라고 대답한 비율은 70%이다. 이에 반해 송도는 상암 DMC와는 다르게 “예”라고 대답한 비율은 53%, “아니오”라고 대답한 비율은 47%이다. 두 지역이 환승여부에 대해 다른 결과를 보이는 것은 서울시가 인천광역시에 비해 단일수단(버스, 전철 등)으로 접근 가능한 교통기반시설이 상대적으로 효율적인 구축에 기인한 것으로 보인다.

(바) 외부통행의 환승 위치



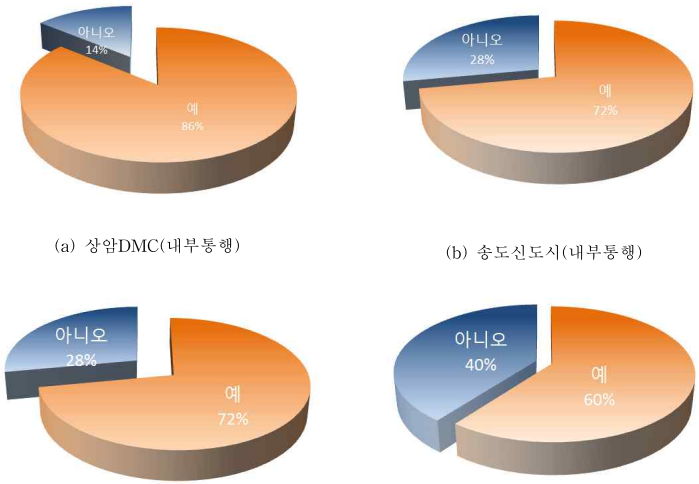
(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.58> 환승 위치

외부통행 시 환승하는 인원들에 대해 환승의 위치를 조사대상 지역 내부와 조사대상지역 외부로 구분하여 질문한 결과 상암 DMC의 경우 96%가 내부에서 환승하며, 내부지역 중 C 지역에서 유효응답자 중 68%가 환승하는 것으로 관측되었고 송도의 경우 93%가 내부에서 환승하며, 내부지역 중 C 지역에서 유효응답자 중 85%가 환승하는 것으로 나타났다. 특정지역에서 환승의 대부분이 이루어지는 것은 해당 지역에 주요 대중교통역사가 위치하고 있고, 교통거점이기 때문으로 판단된다.

(4) PRT 진술선호

(가) PRT 이용여부



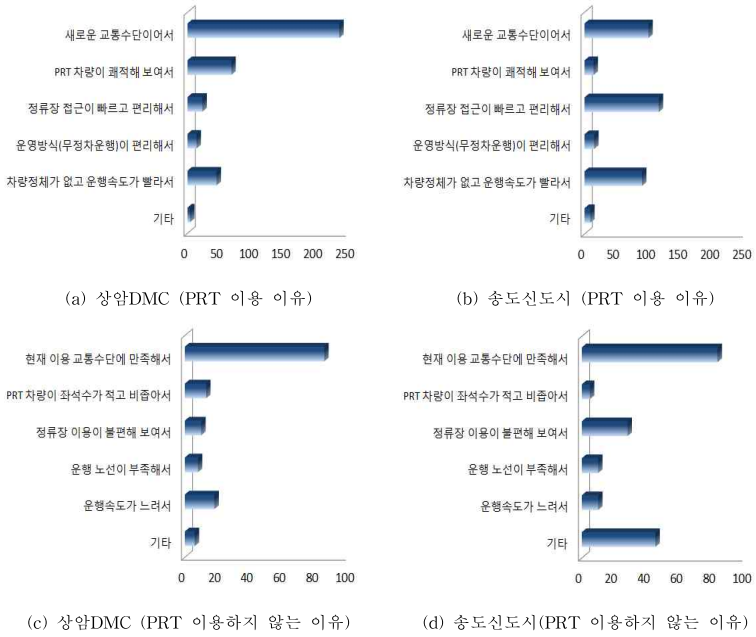
(a) 상암DMC(내부통행) (b) 송도신도시(내부통행)

(c) 상암DMC(외부통행) (d) 송도신도시(외부통행)

<그림 3.5.59> 내부통행 시 PRT 이용여부

PRT에 도입에 관해 설명한 후 조사대상 지역 내부통행 시 PRT 수단의 이용여부를 묻는 질문에 상암 DMC 지역 응답자 중 86%가 이용할 것이라고 답했으며, 송도 지역의 응답자 중 72%가 이용할 것이라고 답하다. 외부통행을 가정하고 같은 질문을 한 경우에는 상암 DMC 지역 응답자들 중 72%가 이용할 것이라고 답했으며, 송도 지역의 응답자들 중 60%가 이용할 것이라고 응답하였다. 송도신도시의 경우 이용비율이 낮은 이유는 현재 송도지역 내부를 관통하는 지하철 노선이 존재하고 있어 필요성이 낮기 때문으로 판단된다.

(나) PRT 이용여부 응답이유



(a) 상암DMC (PRT 이용 이유) (b) 송도신도시 (PRT 이용 이유)

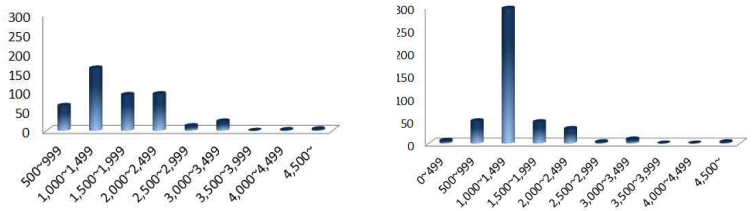
(c) 상암DMC (PRT 이용하지 않는 이유) (d) 송도신도시(PRT 이용하지 않는 이유)

<그림 3.5.60> PRT 이용여부 응답이유

PRT를 이용하겠다고 응답한 인원에 대해 이용하는 이유에 대해 설문한 결과 상암DMC의 경우 “새로운 교통수단이기 때문에”, “차량의 쾌적함”, “정체가 없고 운행속도가 빨라서”의 이유 순의 응답 결과를 보였고 송도의 경우 “접근의 용이성”, “새로운 교통수단이기 때문에”, “ 정체가 없고 운행속도가 빨라서”의 이유 순으로 높은 것으로 관측되었다.

또한, PRT를 이용하지 않는 이유를 묻는 질문에 두 지역 모두 “현재 이용 교통수단에 만족해서”의 이유가 가장 높은 것으로 관측되었다.

(다) PRT 적정요금



(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.61> PRT 적정요금

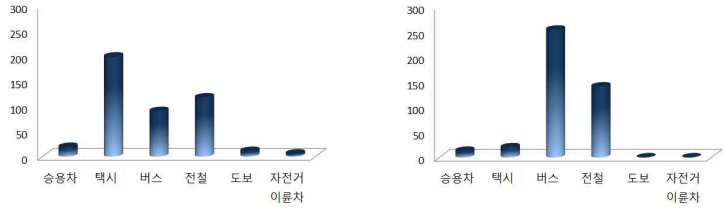
두 지역 모두 PRT의 기본요금을 1,000~1500원 사이가 적당하다고 생각하는 응답이 가장 많았으며, 응답의 통계량을 분석해본 결과 아래와 같은 결과를 보였다.

<표 3.5.71> PRT 적정요금에 대한 기술통계량

구분	표본 수	최소값	최대값	평균	표준편차
PRT 적정요금 (상암DMC)	452	500원	5,000원	1,500.6416	694.76968
PRT 적정요금 (송도)	445	100원	15,000원	1,200.3371	826.20707

1,000원~1,500원 사이가 적당하다고 응답한 인원이 제일 많은 것은 기존의 대중교통수단들의 요금과 같은 수준이 합리적일 것이라고 판단했기 때문이라고 사료된다.

(라) PRT 경쟁수단

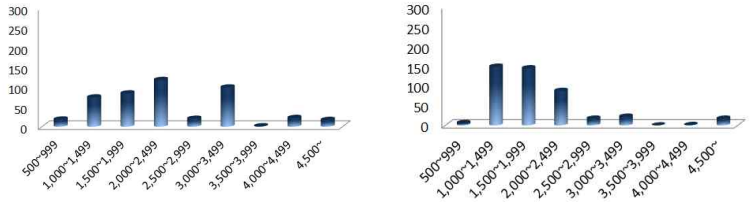


(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.62> PRT 경쟁 교통수단

상암DMC의 경우 PRT와 경쟁관계에 있는 교통수단을 택시라고 응답한 인원이 가장 많았으며, 송도의 경우 버스라고 응답한 인원이 가장 많았다. 반면 승용차를 경쟁수단이라고 답한 비율은 8%, 3%로 관측되었다.

(마) PRT의 최대지불가능 요금



(a) 상암DMC (b) 송도신도시

<그림 3.5.63> 최대지불 가능 요금

상암DMC의 경우 최대 지불가능 요금은 2,000원~2,500원 사이의 빈도가 가장 많았으며, 송도의 경우는 1,000원~1500원 사이의 빈도가 가장 높은 것으로 관측 되었다.

<표 3.5.72> PRT 적정요금에 대한 기술통계량

구분	표본 수	최소값	최대값	평균	표준편차
PRT 적정요금 (상암DMC)	452	500원	10,000원	2,193.7086	1,060.51892
PRT 적정요금 (송도)	445	100원	20,000원	1,617.9510	649.20613

(바) PRT 운행에 따른 버스운행 폐지(송도신도시)



(a) 내부통행 (b) 외부통행

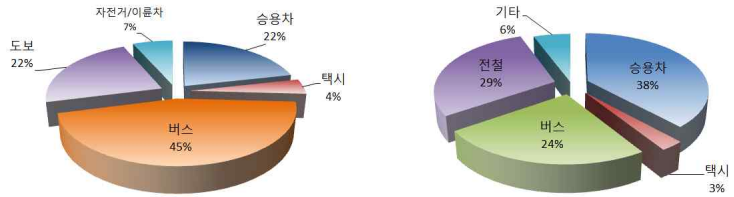
<그림 3.5.64> 버스노선 폐지 시 PRT 이용여부

PRT 도입에 따라 기존 송도지역에서 운행 중인 버스 노선의 폐지를 가정할 경우 내부통행 시 PRT를 이용할 것이라는 답변은 기존 72%에서 91%로 증가하였으며, 외부통행의 경우 60%에서 90%로 증가하였다.

(5) 조사결과의 요약

(가) 상암 DMC 수단분담 관련 자료 요약

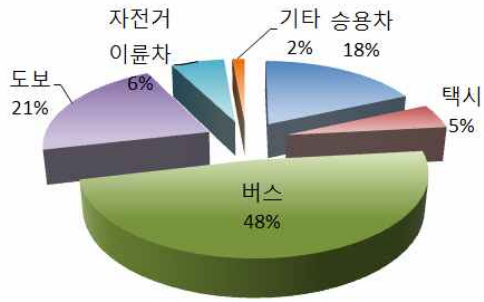
현재 상암 DMC 지역의 내/외부 통행에 관해 살펴보면 내부통행의 경우 버스가 45%로 가장 높고 외부통행은 승용차가 38%로 가장 높은 것으로 나타났다. 내부통행 시 도보는 22%로 내부통행에서는 주요한 교통수단으로 작용함을 알 수 있다.



(a) 내부통행 (b) 외부통행

<그림 3.5.65> 상암 DMC 수단분담률

이 중 PRT 도입을 가정한 후 내부통행에 대해 PRT로 전환할 것으로 예상되는 인원들의 현재 이용수단을 알아보면 버스, 도보, 승용차가 전체의 87%를 차지하고 있다.



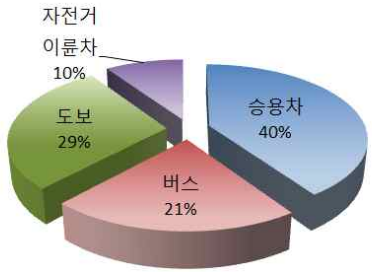
<그림 3.5.66> PRT 전환 예상인원의 현재 이용교통수단

버스가 48%, 승용차가 18%로 도로교통에서 이용전환이 많은 것을 알 수 있는 데, 이는 전환 이유 중 “차량 정체가 없고 운행속도가 빨라서”라는 대답과 논리적 일치하며, 버스의 이용전환이 높은 것은 “정류장의 접근이 빠르고 편리하기 때문”이라는 대답과 논리적으로 일치한다.



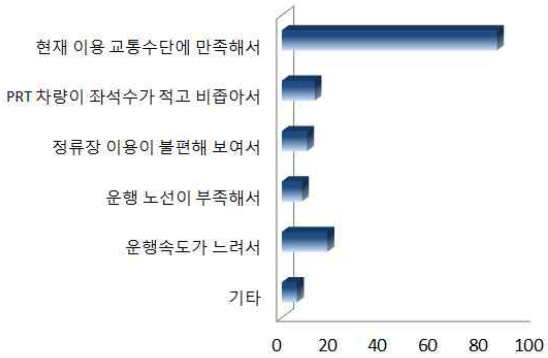
<그림 3.5.67> PRT 이용 이유(상암DMC)

PRT로 전환하지 않는 인원들의 현재 이용수단을 알아보면 승용차가 40%로 가장 큰 비율을 차지하고 있고, 도보와 버스 순으로 높다.



<그림 3.5.68> PRT 미전환 예상인원의 현재 이용교통수단

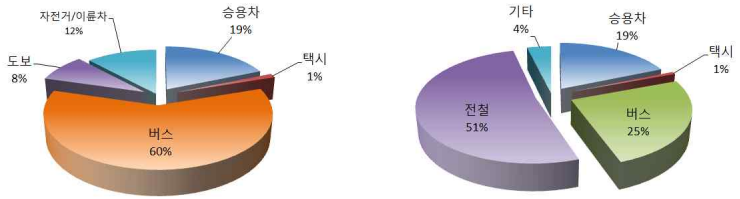
미전환 응답자 중 승용차의 비율이 높은 것은 미전환 이유로 가장 높은 응답률을 보인 “현재 이용 교통수단에 만족하기 때문”과 논리적으로 일치한다.



<그림 3.5.69> PRT를 이용하지 않는 이유(상암DMC)

(나) 송도신도시 수단분담 관련 자료 요약

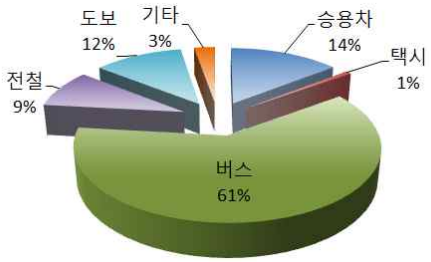
현재 송도 지역의 수단분담률은 내부통행의 경우 버스의 분담률이 60%로 가장 높고, 외부통행은 전철이 51%로 가장 높은 것으로 관측되었다. 상암DMC에 비해 외부통행의 전철 분담률이 높은 것은 송도신도시 지역 내를 관통하는 전철노선이 위치하고 있어 전철에 접근이 용이하기 때문이다.



(a) 내부통행 (b) 외부통행

<그림 3.5.70> 송도신도시 수단분담률

이 중 PRT 도입을 가정한 후 내부통행에 대해 PRT로 전환할 것으로 예상되는 인원들의 현재 이용수단을 알아보면 버스가 61%로 가장 높고, 승용차, 도보, 전철의 순으로 높다.



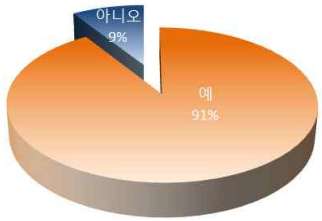
<그림 3.5.71> PRT 전환 예상인원의 현재 이용교통수단

버스가 61%, 승용차가 14%로 도로교통에서 이용전환이 많은 것을 알 수 있는 데, 앞서 제시한 전환 이유 중 "차량 정체가 없고 운행속도가 빨라서"라는 대답과 논리적 일치하며, 버스의 이용전환이 높은 것은 "정류장의 접근이 빠르고 편리"하다는 대답과 논리적으로 일치한다.

송도지역의 경우 조사 시 PRT 도입 시 버스노선의 폐지를 가정하고, PRT로의 이용전환을 설문하였으며, 설문결과 내부통행 시 PRT를 이용할 것이라는 답변은 버스노선이 존재 시 72%에서 91%로 증가하였으며, 외부통행의 경우 60%에서 90%로 증가하였다.



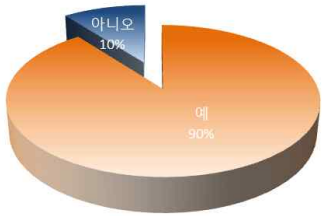
(a) 내부통행(버스노선 유)



(b) 내부통행(버스노선 무)



(c) 외부통행(버스노선 유)



(d) 외부통행(버스노선 무)

<그림 3.5.72> 버스노선 유/무에 따른 이용여부

마. 수단분담모형의 선정

본 과업에서는 로짓 모형(Logit Model)을 기반으로 하는 다항 로짓모형(Multinomial Logit Model: MNL)을 사용하였으며, 단일계층으로 구축(Nested structure는 사용하지 않음)하였으며, 7가지 교통수단을 대안으로 설정하였다. 본 과업에서 사용한 수단분담모형의 이론적 배경을 살펴보면 다음과 같다.

로짓 모형의 이론적 배경은 선택이론의 효용극대화이론(Utility Maximization Theory)에 근거하는데, 즉, 만약 통행자가 여러 수단 중 어떠한 특정수단을 선택했다면, 이것은 선택된 수단의 효용이 선택되지 않은 수단의 효용보다 크게 의사결정에 작용한다는 것을 의미한다.

여기서 효용은 관측 가능한 효용과 관측 불가능한 효용으로 구성되어 있는데, 식(3.5.32)와 같다.

$$V_j + \epsilon_i \tag{3.5.32}$$

여기서, V_j = 관측이 가능한 효용

($V_i = \quad \theta_{ki} x_{ki} \quad \theta = parameter \; x =$수단 i의 관측가능한 속성)

ϵ_i =관측이 불가능한 효용

선택할 수 있는 수단이 a와 b 두 가지인 경우, 통행자가 수단 a를 선택했다면, 수단 a의 효용이 수단 b의 효용보다 크다는 것을 의미하며 식(3.5.33)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(a) &= \Pr(U_a \geq U_b) \\ &= \Pr(V_a + \epsilon_a \geq V_b + \epsilon_b) \\ &= \Pr(V_a - V_b > \epsilon_a - \epsilon_b) \end{aligned} \tag{3.5.33}$$

로짓 모형 중 본 과업에서 사용한 다항 로짓 모형(Multinomial Logit Model)에 대해 상세하게 기술하면 다음과 같다.

(가) 모형의 개요

수단 선택 모형의 수학적 형태는 각 선택대안들을 위한 효용 함수의 오차항에 관한 가정에 의해 결정된다. 다항 로짓 모형을 이끄는 구체적인 가정들은 (1) 오차항은 Gumble 분포(Extreme-value Distribution)를 따르고, (2) 오차항은 각 대안들 간에 동일하고 독립적으로 분포(Identically & Independently Distributed)되어 있고, (3) 오차항은 관측치/개

인들 간에 동일하고 독립적으로 분포되어 있다고 규정되어 있다. 그룹 의 대안에서 대안 i를 선택할 확률에 대한 일반적인 표현은 다음과 같다.

$$\Pr(i) = \frac{\exp(V_j)}{\sum_{=1} \exp(\ _j)} \tag{3.5.34}$$

(3.5.36)

(3.5.37)

여기서, $\Pr(i)$는 대안 i를 선택하는 의사결정자의 확률

V_j는 대안 j의 시스템적 효용항

다항 로짓 모형은 중요한 속성을 가지고 있다. 만약에 의사결정자가 승용차, 버스, 지하철과 같이 3개의 대안을 가지고 있다고 하면, 각 대안에 대한 확률은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$\Pr(Auto) = \frac{\exp(V_{Auto})}{\exp(V_{Auto}) + \exp(V_{Bus}) + \exp(V_{Subway})} \tag{3.5.35}$$

$$\Pr(Bus) = \frac{\exp(V_{Bus})}{\exp(V_{Auto}) + \exp(V_{Bus}) + \exp(V_{Subway})}$$

$$\Pr(Subway) = \frac{\exp(V_{Subway})}{\exp(V_{Auto}) + \exp(V_{Bus}) + \exp(V_{Subway})}$$

여기서, $\Pr(Auto)$, $\Pr(Bus)$, $\Pr(Subway)$는 의사결정자가 승용차, 버스, 지하철을 각각 선택했을 때의 확률

V_{Auto}, V_{Bus}, V_{Subway}는 승용차, 버스, 지하철을 위한 시스템적 효용항

확률함수는 선택한 대안의 시스템적인 효용이 증가할수록 대안을 선택할 확률이 점차적으로 증가한다. 반대로 선택하지 않은 대안의 시스템적인 효용이 증가할수록 대안을 선택할 확률이 감소한다.

다항 로짓 모형에서 가장 널리 논의되었던 특성은 비관련 대안으로부터의 독립성(Independence from Irrelevant Alternatives: IIA)문제이다. IIA 특성은 개인이 선택하는 두 가지 대안에 대한 선택확률 비율이 다른 대안의 존재와 속성에 독립적이라는 것인데, 이러한 전제는 다른 대안들이 하나의 쌍으로 구성된 두 대안 간의 선택결정과 관련되어

있지 않다는 것에 기인한다. IIA 특성은 다항 로짓모형의 공식, 예측 사용에 중요한 문제점으로 고려한다. 선택대안들로부터 하나의 대안을 추가하거나 제거할 때 모형의 구조 및 파라메터에 영향을 주지 않는다고 가정하기 때문이다. 따라서 IIA 특성은 현실적으로 추가되는 또 다른 대안이 기존 한쌍의 대안들 간의 확률의 비율에 관련됨에도 불구하고 대안 그룹간의 행태적인 관계를 적절하게 반영하지 못한다는 단점을 가지고 있다.

(나) 모형의 적합도

다항 로짓 모형의 전체적인 적합도를 설명하기 위해 이용되는 척도는 ρ^2이다. 이 값의 공식은 동등 우위 모형(Equally Likely Model), 상수항 모형(Constants Only Model), 예측모형(Estimated Model), 완전예측모형(Perfect Prediction Model)을 위한 Log-likelihood 값 사이의 스칼라 관계를 가지고 설명할 수 있다. 이는 각각 $LL(0)$, $LL(C)$, $LL(\beta)$, $LL(*)$로 표현된다. 참고모형(Reference Model)이 동등 우위 모형인 경우의 ρ^2 값은

$$\rho_0^2 = \frac{LL(\hat{\beta}) - LL(0)}{LL(*) - LL(0)} \tag{3.5.38}$$

이며, 완전 모형의 Log-likelihood 값이 0이기 때문에, 위 식은

$$\rho_0^2 = 1 - \frac{LL(\hat{\beta})}{LL(0)} \tag{3.5.39}$$

으로 표현된다. 비슷하게 상수항 모형을 참고모형으로 하는 경우의 ρ^2은

$$\rho_0^2 = \frac{LL(\hat{\beta}) - LL(C)}{LL(*) - LL(C)} = 1 - \frac{LL(\hat{\beta})}{LL(C)} \tag{3.5.40}$$

이다. 정의에 의하여 두 ρ^2은 0과 1사이의 값을 가지며(이는 선형 회귀식의 R^2 값과 비슷함), 0의 값을 가질 경우에는 참고 모형보다 더 나은 모형을 가질 수 없으며, 1의 값을 가질 경우에는 완전한 모형이라는 뜻을 가진다.

그러나 앞선 두 값의 단점은 "좋은" ρ^2에 대한 지침이 없다는 것이다. 따라서 더 선호되는 모형의 선택을 지지하기 위해서는 Log-likelihood Statistic을 이용하는 것이 합리적이다. ρ^2이 가지는 또 다른 문제는 변수가 추가될 때마다 변수의 모형 내에서 중요성과

관계없이 모형이 향상된다는 것이다. 이는 모형의 목적함수가 하나의 또는 더 많은 자유도를 가지고 모형화 되고, 같은 크기의 데이터가 모형의 적합도를 평가하고 예측하는 데 이용되기 때문이다. 이러한 문제 해겨을 위한 또 다른 방법은 보정된 값을 이용하는 것이다. 동등 우위 모형 기반의 보정된 ρ^2값은

$$\overline{\rho_0^2} = \frac{[LL(\hat{\beta}) - K] - LL(0)}{LL(*) - LL(0)} = 1 - \frac{LL(\hat{\beta}) - K}{LL(0)} \quad (3.5.41\text{-a})$$

이다. 여기서, K는 모형에 이용된 자유도 값이다. 비슷한 방법으로 상수형 모형 기반의 보정된 ρ^2값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\overline{\rho_C^2} = \frac{LL(\hat{\beta}) - K - (LL(C) - K_{MS})}{LL(*) - (LL(C) - K_{MS})} = 1 - \frac{LL(\hat{\beta}) - K}{LL(C) - K_{MS}} \quad (3.5.41\text{-b})$$

여기서, $_S$는 상수항 모형에서 이용된 자유도의 값이다.

바. 수단분담모형의 구축 및 검증

(1) 모형 구축의 가정

본 과업에서는 송도신도시와 상암DMC시의 PRT도입에 따른 수단분담 변화를 예측할 수 있는 수단분담모형 구축을 위해 다음과 같은 가정을 적용하였다.

- 응답자가 선택한 교통수단에 대한 특성 값(통행시간, 통행비용, 접근/대기시간)은 직접 기술한 값을 사용
- 선택하지 않은 교통수단에 대한 특성 값은 보완조사에서 관측된 출발지/도착지 교통존별 평균값을 사용함(Aggregate Value)
- "출발지/도착지" 자료가 존재하지 않는 응답자의 경우 "출발지"기준 평균값을 사용(이 값 또한 존재하지 않는 경우, 전체 평균값을 사용)
- PRT 통행비용은 응답자가 응답한 비용을 적용함
- PRT 통행시간의 경우 현재 이용하는 교통수단의 통행시간과 "출발지/도착지" 별로 계산한 평균값을 결합하여 적용함

(2) 모형의 구축 및 검증결과

두 지역 모두 동일하게 설명변수를 차내통행시간, 차외통행시간(대기/접근시간), 통행비용으로 설정한 모형 1과 통행시간(차내통행시간+차외통행시간)과 통행비용으로 설정한 모형 2를 구축하였으며, 각각의 모형들에 현황수단선택모형과 PRT선택모형을 구축하였다. 다만 송도신도시의 경우 버스노선 운영/폐지 대안에 따른 모형 구축을 추가로 수행하였다.

(가) 송도신도시 수단분담모형

① 모형 1

송도신도시의 수단분담 설명변수를 차내 통행시간, 차외통행시간(대기/접근시간), 통행비용으로 설정하고, 현황수단선택모형(RP), PRT 수단선택모형(버스노선 운영), PRT 수단선택모형(버스노선 폐지)의 모형을 구축하였다.

- 현황수단선택모형(RP)
  - 선택 가능 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 전철(rail), 도보(walk), 자전거(bike)

  - 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot travel_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + W \cdot wait_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij} \quad (3.5.42)$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot travel_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + W \cdot wait_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij} \quad (3.5.43)$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot travel_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + W \cdot wait_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij} \quad (3.5.44)$$

$$U_{rail}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot travel_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + W \cdot wait_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij} \quad (3.5.45)$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot travel_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij} \quad (3.5.46)$$

$$U_{bike}^{ij} = \quad T \cdot travel_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij} \quad (3.5.47)$$

여기서, ^{ij}= 교통수단 를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 효용

ϵ_k^{ij}= 교통수단 k를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 효용의 random 요소

$travel_k^{ij}$ = 교통수단 k를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 통행시간 (분)

ost^{ij} = 교통수단 k를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 통행비용 (원)

$wait_k^{ij}$ = 교통수단 k를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 접근/대기시간 (분)

α_k = 교통수단에 대한 alternative-specific constant

, C, W = 매개변수

- 모형추정결과

현황수단선택모형의 추정결과 차내통행시간의 경우 -0.33369, 차외통행시간의 경우 -0.62081, 통행비용의 경우 -0.00318의 계수 값을 보였다. 세 가지 변수 모두 음의 값을 가지는데 이는 값이 커질수록 이용자에게 부의 효용을 보인다고 해석할 수 있으며, 절대 값이 차외통행시간 계수, 차내통행시간 계수, 통행비용 계수 순인 것으로 보아, 이용자들은 비용의 변화보다 통행시간 변화 특히 차외통행시간 변화에 민감하다고 판단된다.

위의 결과는 일반적 상식으로 충분히 받아들일 수 있으므로 합리적인 값이라고 사료된다.

<표 3.5.73> 현황수단선택모형 추정결과

구분	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	37.0524	1.92E+06	1.93E-05	0.999985
T	-0.33369	0.0726	-4.59625	4.30E-06
C	-0.00318	0.000535	-5.93875	2.87E-09
A2	11.3209	2.68E+06	4.22E-06	0.999997
W	-0.62081	0.194624	-3.18976	0.001424
A3	40.0472	1.92E+06	2.09E-05	0.999983
A4	41.0991	1.92E+06	2.15E-05	0.999983
A5	36.8619	1.92E+06	1.92E-05	0.999985
Log likelihood function			-46.5946	

또한, 각 계수의 P-value 0.01보다 낮으므로 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의미하다는 결과를 얻을 수 있으며, Log likelihood function 값은 -46.6이다.

- 시간가치

차내통행시간과 차외통행시간의 시간가치 비교를 위해 아래 식을 사용하여 시간가치를 산출하였다.

$$OT\ Travel\ Time) = \frac{\partial V_k^{ij}}{\partial travel_k^{ij}} = \frac{T}{C} \tag{3.5.48}$$

$$VOT(Waiting/Access\ Time) = \frac{\frac{\partial V_k^{ij}}{\partial wait_k^{ij}}}{\frac{\partial V_k^{ij}}{\partial \mathrm{cost}_k^{ij}}} = \frac{W}{C} \tag{3.5.49}$$

차내통행시간의 시간가치의 경우 6,302 원/시이며, 차외통행시간의 경우 11,725 원/시의 결과를 보인다. 이는 추정결과에서 봤던 것과 같이 이용자들이 차내통행시간보다 차외통행시간에 더 민감하다는 결과와 논리적으로 일치한다.

• PRT 수단선택모형: 버스노선 운영

- 선택 가능 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 전철(rail), 도보(walk), 자전거(bike), PRT(prt)

- 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot travel_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + W \cdot wait_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij} \tag{3.5.50}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot travel_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + W \cdot wait_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij} \tag{3.5.51}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot travel_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + W \cdot wait_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij} \tag{3.5.52}$$

$$U_{rail}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot travel_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + W \cdot wait_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij} \tag{3.5.53}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot travel_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij} \tag{3.5.54}$$

$$U_{bike}^{ij} = \alpha_6 + T \cdot travel_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij} \tag{3.5.55}$$

$$U_{prt}^{ij} = \quad T \cdot travel_{prt}^{ij} + C \cdot cost_{prt}^{ij} + W \cdot wait_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij} \tag{3.5.56}$$

- 모형추정결과

PRT 수단분담모형의 추정결과 차내통행시간의 계수는 -0.36442, 통행비용의 계수는 -0.00315, 차외통행시간의 계수는 -0.62204로 분석되었다.

세 가지 변수 모두 음의 값을 가지는데 이는 값이 커질수록 이용자에게 부의 효용을 보인다고 해석할 수 있으며, 절대 값이 차외통행시간 계수, 차내통행시간 계수, 통행비용 계수 순인 것으로 보아, 이용자들은 비용의 변화보다 통행시간 변화 특히 차외통행시간 변화에 민감하다고 판단된다.

<표 3.5.74> PRT 수단분담모형 추정결과(버스노선 운영)

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-2.90013	0.387743	-7.47951	7.46E-14
T	-0.36442	0.05511	-6.61257	3.78E-11
C	-0.00315	0.000362	-8.70627	2.89E-15
A2	-97.6858	14887.2	-0.00656	0.994765
W	-0.62204	0.097865	-6.3561	2.07E-10
A3	1.06332	0.53659	1.98163	0.047521
A4	1.33981	0.819932	1.63405	0.102248
A5	-2.43153	0.731853	-3.32243	0.000892
A6	-108.21	14887.2	-0.00727	0.994201
Log likelihood function			-165.2931	

또한, 각 계수의 P-value 0.01보다 낮으므로 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의미하다는 결과를 얻을 수 있으며, Log likelihood function 값은 -165.2931이다.

- 시간가치

차내통행시간의 시간가치의 경우 6,940 원/시이며, 차외통행시간의 경우 11,847 원/시의 결과를 보인다. 이는 추정결과에서 봤던 것과 같이 이용자들이 차내통행시간보다 차외통행시간에 더 민감하다는 결과와 논리적으로 일치한다.

또한, 현행수단선택모형과 비교해보면, 시간가치가 모두 증가함을 알 수 있는데 이는 선택 가능한 교통수단의 대안이 증가했기 때문이다. 하지만, 차내통행시간의 변화폭이 차외통행시간에 변화에 비해 큰 데, 이는 PRT 도입으로 인해 차내통행시간의 변화에는 이용자들이 민감하게 변화하기 때문에 시간가치의 변화폭이 큰 반면, PRT가 접근/대기시간을 가지고 있는 대중교통이므로 차외통행시간 시간가치에는 영향을 크게 미치지 않는다는 결론을 얻을 수 있다.

• PRT 수단선택모형: 버스노선 폐지

- 선택 가능 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi),전철(rail), 도보(walk), 자전거(bike), PRT(prt)

- 효용함수식

$$U_{uto}^{ij} \quad \alpha_1 + T \cdot travel_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + W \cdot wait_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij} \tag{3.5.57}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot travel_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + W \cdot wait_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij} \tag{3.5.58}$$

$$U_{rail}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot travel_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + W \cdot wait_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij} \tag{3.5.59}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot travel_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij} \tag{3.5.60}$$

$$U_{bike}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot travel_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij} \tag{3.5.61}$$

$$U_{prt}^{ij} = \quad T \cdot travel_{prt}^{ij} + C \cdot cost_{prt}^{ij} + W \cdot wait_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij} \tag{3.5.62}$$

- 모형추정결과

PRT 수단분담모형의 추정결과 차내통행시간의 계수는 -0.27538, 통행비용의 계수는 -0.00282, 차외통행시간의 계수는 -0.53202로 분석되었다.

버스노선이 운영되고 있을 때의 모형과 비교해봤을 때 계수들의 절대값이 감소하였음을 알 수 있다.

<표 3.5.75> PRT 수단분담모형 추정결과(버스노선 폐지)

구분	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-2.99747	0.474983	-6.31069	2.78E-10
T	-0.27538	0.047225	-5.83137	5.50E-09
C	-0.00282	0.000402	-7.01094	2.37E-12
A2	-98.6022	57858.9	-0.0017	0.99864
W	-0.53202	0.133225	-3.99341	6.51E-05
A3	0.237188	0.977622	0.242618	0.808302
A4	-3.48492	0.853549	-4.08287	4.45E-05
A5	-107.703	57858.9	-0.00186	0.998515
Log likelihood function			-107.0642	

또한, 각 계수의 P-value 0.01보다 낮으므로 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의미하다는 결과를 얻을 수 있으며, Log likelihood function 값은 -107.0642이다.

- 시간가치

차내통행시간의 시간가치의 경우 5,857원/시이며, 차외통행시간의 경우 11,315원/시의 결과를 보인다. 이는 추정결과에서 봤던 것과 같이 이용자들이 차내통행시간보다 차외통행시간에 더 민감하다는 결과와 논리적으로 일치한다.

또한, 버스노선이 존재할 때의 PRT 수단선택모형과 비교해봤을 때, 차내통행시간의 시간가치는 큰 폭으로 감소하였고, 차외통행시간의 경우도 소폭 감소하였다. 이는 버스노선이 폐지되면서 이용자가 선택 가능한 교통수단의 대안 수가 감소하기 때문이다.

② 모형 2

송도신도시의 수단분담 설명변수를 모형1의 차내 통행시간, 차외통행시간(대기/접근시간)을 통합한 통행시간과 통행비용으로 설정하고, 현황수단선택모형(RP), PRT 수단선택모형(버스노선 운영), PRT 수단선택모형(버스노선 폐지)의 모형을 구축하였다.

• 현황수단선택모형(RP)

- 선택 가능 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 전철(rail), 도보(walk), 자전거(bike)

- 효용함수식

$$U_{uto}^{ij} \quad \alpha_1 + T \cdot time_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij} \tag{3.5.63}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot time_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij} \tag{3.5.64}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot time_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij} \tag{3.5.65}$$

$$U_{rail}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot time_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij} \tag{3.5.66}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij} \tag{3.5.67}$$

$$U_{bike}^{ij} = \quad T \cdot time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij} \tag{3.5.68}$$

여기서, $ime^{ij} = travel_k^{ij} + wait_k^{ij}$ = 교통수단 k를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 총 통행시간 (분)

- 모형추정결과

PRT 수단분담모형의 추정결과 통행시간의 계수는 -0.37167, 통행비용의 계수는 -0.00309로 분석되었다. 두 변수 모두 음의 값을 가지는데 이는 값이 커질수록 이용자에게 부의 효용을 보인다고 해석할 수 있으며, 절대 값이 통행시간 계수가 통행비용 계수보다 큰 것으로 보아 이용자들은 비용의 변화보다 통행시간 변화에 민감하다고 판단된다.

<표 3.5.76> 현황수단선택모형 추정결과

구분	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	36.5178	2.07E+06	1.76E-05	1.00E+00
T	-0.37167	0.077231	-4.81248	1.49E-06
C	-0.00309	0.00052	-5.93721	2.90E-09
A2	9.43195	2.81E+06	3.35E-06	1.00E+00
A3	37.4397	2.07E+06	1.81E-05	1.00E+00
A4	37.7415	2.07E+06	1.82E-05	1.00E+00
A5	36.8531	2.07E+06	1.78E-05	0.999986
Log likelihood function			-48.06520	

또한, 각 계수의 P-value 0.01보다 낮으므로 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의미하다는 결과를 얻을 수 있으며, Log likelihood function 값은 -48.06520이다.

- 시간가치

시간가치는 아래 식을 통해 계산한다.

$$OT(Travel\ Time) = \begin{matrix} \partial V_k^{ij} \\ \partial time_k^{ij} \\ \partial V_k^{ij} \\ \partial \cos t_k^{ij} \end{matrix} = \frac{T}{C}, \tag{3.5.69}$$

통행시간가치는 7,224원/시로 나타났다.

• PRT 수단선택모형: 버스노선 운영

- 선택 가능 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 전철(rail), 도보(walk), 자전거(bike), PRT(prt)

- 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot time_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij} \tag{3.5.70}$$

$$U_{axi}^{ij} \quad \alpha_2 + T \cdot time_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij} \tag{3.5.71}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot time_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij} \tag{3.5.72}$$

$$U_{rail}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot time_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij} \tag{3.5.73}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij} \tag{3.5.74}$$

$$U_{bike}^{ij} = \alpha_6 + T \cdot time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij} \tag{3.5.75}$$

$$U_{prt}^{ij} = \quad T \cdot time_{prt}^{ij} + C \cdot cost_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij} \tag{3.5.76}$$

- 모형추정결과

PRT 수단분담모형의 추정결과 통행시간의 계수는 -0.4325, 통행비용의 계수는 -0.00305로 분석되었다. 두 변수 모두 음의 값을 가지는데 이는 값이 커질수록 이용자에게 부의 효용을 보인다고 해석할 수 있다.

<표 3.5.77> PRT 수단분담모형 추정결과(버스노선 운영)

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-2.38098	0.320829	-7.42135	1.16E-13
T	-0.4325	0.056439	-7.66301	1.82E-14
C	-0.00305	3.60E-04	-8.49525	2.89E-15
A2	-98.2782	14681.3	-0.00669	9.95E-01
A3	0.301678	0.427562	0.705577	4.80E-01
A4	0.110696	0.651296	0.169962	8.65E-01
A5	-1.21446	0.568829	-2.13502	3.28E-02
A6	-106.751	14681.3	-0.00727	9.94E-01
Log likelihood function			-168.6106	

또한, 각 계수의 P-value 0.01보다 낮으므로 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의미하다는 결과를 얻을 수 있으며, Log likelihood function 값은 -48.06520이다.

- 시간가치

버스노선이 운영됐을 때의 PRT 수단선택모형에서의 시간가치는 8,496원/시로 현황수단선택모형의 시간가치 값보다 상승했음을 알 수 있는데, 이는 앞에서 언급했던 것과 같이 선택대안의 증가로 인함이다.

• PRT 수단선택모형: 버스노선 폐지

- 선택가능 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi),전철(rail), 도보(walk), 자전거 (bike), PRT(prt)

- 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot time_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij} \tag{3.5.77}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot time_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij} \tag{3.5.78}$$

$$U_{rail}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot time_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij} \tag{3.5.79}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij} \tag{3.5.80}$$

$$U_{bike}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij} \tag{3.5.81}$$

$$U_{prt}^{ij} = \quad T \cdot time_{prt}^{ij} + C \cdot cost_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij} \tag{3.5.82}$$

- 모형추정결과

PRT 수단분담모형의 추정결과 통행시간의 계수는 -0.30586, 통행비용의 계수는 -0.00255로 분석되었다. 두 변수 모두 음의 값을 가지는데 이는 값이 커질수록 이용자에게 부의 효용을 보인다고 해석할 수 있으며, 이용자들이 통행비용보다 통행시간에 더 민감하다고 말할 수 있다.

<표 3.5.78> PRT 수단분담모형 추정결과(버스노선 폐지)

구분	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-2.34454	0.309535	-7.57439	3.60E-14
T	-0.30586	0.050225	-6.0898	1.13E-09
C	-0.00255	3.56E-04	-7.16425	7.82E-13
A2	-99.36	111423	-0.00089	9.99E-01
A3	-1.21172	0.645341	-1.87765	6.04E-02
A4	-2.33126	0.557736	-4.17987	2.92E-05
A5	-106.113	111423	-0.00095	9.99E-01
Log likelihood function			-108.7485	

또한, 각 계수의 P-value 0.01보다 낮으므로 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의미하다는 결과를 얻을 수 있으며, Log likelihood function 값은 -108.7485이다.

- 시간가치

버스노선이 폐지됐을 때의 PRT 수단선택모형에서의 시간가치는 7,199원/시로 버스노선 운영 시의 수단선택모형보다 그 값이 감소하였는데, 현황수단선택모형의 시간가치 값보다 상승했음을 알 수 있는데, 앞서 언급했던 것과 마찬가지로 선택대안의 감소로 인한 것으로 판단된다.

(나) 상암DMC 수단분담모형

① 모형 1

상암DMC의 수단분담 설명변수를 차내 통행시간, 차외통행시간(대기/접근시간), 통행비용으로 설정하고, 현황수단선택모형(RP), PRT 수단선택모형을 구축하였다.

• 현황수단선택모형(RP)

- 선택 가능 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 도보(walk), 자전거(bike)

- 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot travel_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + W \cdot wait_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij} \quad (3.5.83)$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot travel_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + W \cdot wait_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij} \quad (3.5.84)$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot travel_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + W \cdot wait_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij} \quad (3.5.85)$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot travel_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij} \quad (3.5.86)$$

$$U_{bike}^{ij} = T \cdot travel_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij} \quad (3.5.87)$$

- 모형추정결과

현황수단선택모형의 추정결과 차내통행시간의 계수는 -1.21668, 통행비용의 계수는 -0.00578773 차외통행시간의 계수는 -0.995766으로 분석되었다.

세 가지 변수 모두 음의 값을 가지는데 이는 값이 커질수록 이용자에게 부의 효용을 보인다고 해석할 수 있으며, 절대 값이 차내통행시간 계수, 차외통행시간 계수, 통행비용 계수 순인 것으로 보아, 이용자들은 비용의 변화보다 통행시간 변화 특히 차내통행시간 변화에 민감하다고 판단된다.

<표 3.5.79> 현황수단선택모형 추정결과

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	1.48176	2.02E+00	7.34E-01	4.63E-01
T	-1.21668	0.305732	-3.97958	6.90E-05
C	-0.00578773	0.00199045	-2.90775	3.64E-03
A2	4.84936	5.24E+00	9.25E-01	3.55E-01
W	-0.995766	0.30491	-3.26577	1.09E-03
A3	10.0818	2.58E+00	3.91E+00	9.12E-05
A4	5.26827	4.34E+00	1.21E+00	2.25E-01
Log likelihood function			-21.30029	

또한, 각 계수의 P-value 0.01보다 낮으므로 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의미하다는 결과를 얻을 수 있으며, Log likelihood function 값은 -108.7485이다.

- 시간가치

차내통행시간의 시간가치의 경우 12,613 원/시이며, 차외통행시간의 경우 10,323 원/시의 결과를 보인다. 이는 추정결과에서 봤던 것과 같이 이용자들이 차외통행시간보다 차내통행시간에 더 민감하다는 결과와 논리적으로 일치하며, 차내통행시간의 시간가치가 큰 것은 모형추정결과에서 제시한 이유와 같다.

• PRT 수단선택모형

- 선택 가능 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 도보(walk), 자전거(bike), PRT(prt)

- 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot travel_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + W \cdot wait_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij} \quad (3.5.88)$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot travel_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + W \cdot wait_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij} \quad (3.5.89)$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot travel_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + W \cdot wait_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij} \quad (3.5.90)$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot travel_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij} \quad (3.5.91)$$

$$U_{bike}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot travel_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij} \quad (3.5.92)$$

$$U_{prt}^{ij} = T \cdot travel_{prt}^{ij} + C \cdot cost_{prt}^{ij} + W \cdot wait_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij} \quad (3.5.93)$$

- 모형추정결과

현황수단선택모형의 추정결과 차내통행시간의 계수는 -0.80776, 통행비용의 계수는 -0.0025 차외통행시간의 계수는 -0.19369로 분석되었다.

세 가지 변수 모두 음의 값을 가지는데 이는 값이 커질수록 이용자에게 부의 효용을 보인다고 해석할 수 있으며, 절대 값이 차내통행시간 계수, 차외통행시간 계수, 통행비용 계수 순인 것으로 보아, 이용자들은 비용의 변화보다 통행시간 변화 특히 차내통행시간 변화에 민감하다고 판단된다.

<표 3.5.80> PRT 수단선택모형 추정결과

구분	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-4.30796	0.376502	-11.4421	2.89E-15
T	-0.807755	0.0963942	-8.37971	2.89E-15
C	-0.0025006	2.64E-04	-9.46156	2.89E-15
A2	-4.15625	1.25901	-3.3012	9.63E-04
W	-0.193687	0.071866	-2.69511	7.04E-03
A3	-1.0617	0.374192	-2.83731	4.55E-03
A4	0.172189	0.596724	0.288557	7.73E-01
A5	-3.83	0.595548	-6.43105	1.27E-10
Log likelihood function			-236.5296	

또한, 각 계수의 P-value 0.01보다 낮으므로 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의미하다는 결과를 얻을 수 있으며, Log likelihood function 값은 -236.5296이다.

- 시간가치

차내통행시간의 시간가치의 경우 19,381 원/시이며, 차외통행시간의 경우 4,647 원/시의 결과를 보인다. 이는 추정결과에서 봤던 것과 같이 이용자들이 차외통행시간보다 차내통행시간에 더 민감하다는 결과와 논리적으로 일치한다.

② 모형 2

상암DMC의 수단분담 설명변수를 모형1의 차내 통행시간, 차외통행시간(대기/접근시간)을 통합한 통행시간과 통행비용으로 설정하고, 현황수단선택모형(RP), PRT 수단선택모형을 구축하였다.

• 현황수단선택모형(RP)

- 선택 가능 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 도보(walk), 자전거(bike)
- 효용함수식

$$U_{uto}^{ij} \quad \alpha_1 + T \cdot time_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij} \tag{3.5.94}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot time_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij} \tag{3.5.96}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot time_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij} \tag{3.5.97}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij} \tag{3.5.98}$$

$$U_{bike}^{ij} = \quad T \cdot time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij} \tag{3.5.99}$$

- 모형추정결과

현황수단선택모형의 추정결과 통행시간의 계수는 -1.36712, 통행비용의 계수는 -0.00531521로 분석되었다.

두 변수 모두 음의 값을 가지는데 이는 값이 커질수록 이용자에게 부의 효용을 보인다고 해석할 수 있으며, 절대 값이 통행시간 계수가 통행비용 계수보다 큰 것으로 보아 이용자들은 비용의 변화보다 통행시간 변화에 민감하다고 판단된다.

<표 3.5.81> 현황수단선택모형 추정결과

구분	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	1.36712	1.93E+00	7.09E-01	4.78E-01
T	-1.12078	0.228388	-4.90733	9.23E-07
C	-0.00531521	0.00167286	-3.17731	1.49E-03
A2	5.26745	4.48E+00	1.18E+00	2.40E-01
A3	10.9009	2.22434	4.90075	9.55E-07
A4	4.91811	3.52E+00	1.40E+00	1.63E-01
Log likelihood function			-21.46112	

또한, 각 계수의 P-value 0.01보다 낮으므로 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의미하다는 결과를 얻을 수 있으며, Log likelihood function 값은 -21.46112이다.

- 시간가치

현행수단선택모형의 통행시간 시간가치는 12,652원/시 이다.

• PRT 수단선택모형

- 선택 가능 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 도보(walk), 자전거(bike), PRT(prt)

- 효용함수식

$$U_{uto}^{ij} \quad \alpha_1 + T \bullet time_{auto}^{ij} + C \bullet cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij} \tag{3.5.100}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \bullet time_{taxi}^{ij} + C \bullet cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij} \tag{3.5.101}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \bullet time_{bus}^{ij} + C \bullet cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij} \tag{3.5.102}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \bullet time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij} \tag{3.5.103}$$

$$U_{ike}^{ij} \quad \alpha_5 + T \bullet time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij} \tag{3.5.104}$$

$$U_{prt}^{ij} = \quad T \bullet time_{prt}^{ij} + C \bullet cost_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij} \tag{3.5.105}$$

- 모형추정결과

PRT 수단선택모형의 추정결과 통행시간의 계수는 -0.511955, 통행비용의 계수는 -0.00225416으로 분석되었다.

두 변수 모두 음의 값을 가지는데 이는 값이 커질수록 이용자에게 부의 효용을 보인다고 해석할 수 있으며, 절대 값이 통행시간 계수가 통행비용 계수보다 큰 것으로 보아 이용자들은 비용의 변화보다 통행시간 변화에 민감하다고 판단된다.

<표 3.5.82> PRT 수단선택모형 추정결과

구분	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-5.03019	0.332078	-15.1476	2.89E-15
T	-0.511955	0.0428109	-11.9585	2.89E-15
C	-0.00225416	2.37E-04	-9.53063	2.89E-15
A2	-3.91312	1.23342	-3.17257	1.51E-03
A3	-0.394419	0.295398	-1.33521	1.82E-01
A4	-2.02705	0.421776	-4.80598	1.54E-06
A5	-5.68655	0.477039	-11.9205	2.89E-15
Log likelihood function			-252.4080	

- 시간가치

PRT 수단선택모형의 통행시간 시간가치는 13,627원/시로 현황선택모형에 비해 높은 값을 보이는 데, 이는 PRT가 도입됨으로써 이용자가 선택 가능한 대안의 수가 증가했기 때문이다.

(3) 기존 연구결과와의 비교

본 과업에서 추정한 결과 계수 및 시간가치는 다음과 같다.

<표 3.5.83> 계수 및 시간가치 추정결과

구분			통행시간 Coefficient		통행비용 Coefficient	시간가치 (원/시)	
			차내시간	차외시간		차내시간	차외시간
송도 신도시	모형 1	현황	-0.33369	-0.62081	-0.00318	6,302	11,725
		버스 운영	-0.36442	-0.62204	-0.00315	6,940	11,847
		버스 폐지	-0.27538	-0.53202	-0.00282	5,857	11,315
	모형 2	현황	-0.37167		-0.00309	7,224	
		버스 운영	-0.4325		-0.00305	8,496	
		버스 폐지	-0.30586		-0.00255	7,199	
상암 DMC	모형 1	현황	-1.21668	-0.99577	-0.00579	12,613	10,323
		PRT	-0.80776	-0.19369	-0.0025	19,381	4,647
	모형2	현황	-1.12078		-0.00532	12,652	
		PRT	-0.51196		-0.00225	13,627	

『도로·철도부문사업의 예비타당성 조사 지침 수정·보완 연구(제5판)』(한국개발연구원, 2009.08)에서 제시하는 시간가치 값과 비교해보면 비슷한 수준의 값을 보이고 있어 합리적인 결과라고 판단된다.

사. 선호도 조사에 따른 검토

(1) 모형 추정결과

모형적용성을 고려하여, 통행시간과 통행비용을 설명변수로 하는 수단분담 모형을 개발하였다. 모형의 추정시 입력 error, 일관성이 없는 응답 등은 filtering 하였고, 추정된 모형 통계치의 매개변수들을 분석해 본 결과 모두 통계적으로 유의미하였다. 또한 alternative-specific 상수항의 경우에도 주요 교통수단에 대해 통계적으로 유의미하였다.

(2) 송도신도시 모형 활용

모형1과 모형2 모두 모형계수 및 시간가치 산출값을 볼 때 실제적용성이 우수하다. 특히 모형1의 경우에는 차내통행시간과 차외통행시간에 대한 민감도를 현실감 있게 설명하고 있어, PRT 역사 접근시간과 대기시간의 변화에 따른 수요민감도분석을 하는 데 매우 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 상암DMC 모형 활용

상암의 경우 서울도심지 특성과 이용자 사회경제특성에 의해 시간가치가 송도보다 높게 나온다. Travel time과 wait/access time을 구한 모형1의 경우에 차내통행시간 가치가 차외통행시간 가치보다 크게 나왔다. 이는 조사된 대부분 통행에 있어서 수단들 간에 차외통행시간에 대한 차별성이 작게 관측되었기 때문으로 판단된다. 따라서 총통행시간과 비용을 변수로 한 모형 2를 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

(4) PRT 선호도 조사의 결론

PRT 대상지역인 상암DMC와 송도신도시에 대한 매우 구체적인 이용자 통행행태 자료를 설문조사를 통해 수집하였다. 설문조사 분석결과 새로운 교통수단에 대한 기대와 이용편의성으로 인해 PRT 선호가 매우 높은 것으로 나타났다.

수단분담모형은 내부통행에 대하여 구축하였으며, 다양한 형태의 수단분담모형 구조를 테스트하고, RP와 SP자료를 결합하여, 모형적용성을 고려해 통행시간과 통행비용을 설명변수로 하는 모형을 구축하였다.

또한 수단분담모형은 송도신도시와 상암DMC에 대해 구축하였으며, 설명변수에 따라 모형을 1과 2로 구분하였고, 송도신도시의 경우 버스노선 폐지 유무에 따라 다른 모형을 구축하여 시간가치를 산출하였다.

- 모형Ⅰ의 설명변수: 차내통행시간, 차외통행시간(대기/접근시간), 통행비용
- 모형Ⅱ의 설명변수: 통행시간(차내통행시간+차외통행시간), 통행비용

<표 3.5.84> 계수 및 시간가치 추정결과

구분			통행시간 Coefficient		통행비용 Coefficient	시간가치 (원/시)	
			차내시간	차외시간		차내시간	차외시간
송도 신도시	모형 1	현황	-0.33369	-0.62081	-0.00318	6,302	11,725
		버스 운영	-0.36442	-0.62204	-0.00315	6,940	11,847
		버스 폐지	-0.27538	-0.53202	-0.00282	5,857	11,315
	모형 2	현황	-0.37167		-0.00309	7,224	
		버스 운영	-0.4325		-0.00305	8,496	
		버스 폐지	-0.30586		-0.00255	7,199	
상암 DMC	모형 1	현황	-1.21668	-0.99577	-0.00579	12,613	10,323
		PRT	-0.80776	-0.19369	-0.0025	19,381	4,647
	모형2	현황	-1.12078		-0.00532	12,652	
		PRT	-0.51196		-0.00225	13,627	

모형적용의 일관성 측면에서 총통행시간과 비용을 변수로 한 모형Ⅱ를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

경제성 분석 연구진 의견을 수렴하고, 모형 적용성 테스트 후 수단분담모형을 확정함

PRT는 새롭게 도입되는 신교통수단으로써 기존의 교통수단과는 다른 수단분담모형의 개발이 필요한 실정이었다. 그래서 PRT 수단분담모형 개발을 위해 SP조사를 시행하였으며, 그 결과를 이용하여 수단분담모형을 구축하였다. 4단계 장래수요예측 모형에 PRT의 특성을 반영한 수단분담모형을 적용시킴으로써 보다 합리적이고 유의미한 예측이 가능할 것으로 예상된다. 모형적용의 일관성 측면에서 총통행시간과 비용을 변수로 한 모형Ⅱ를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

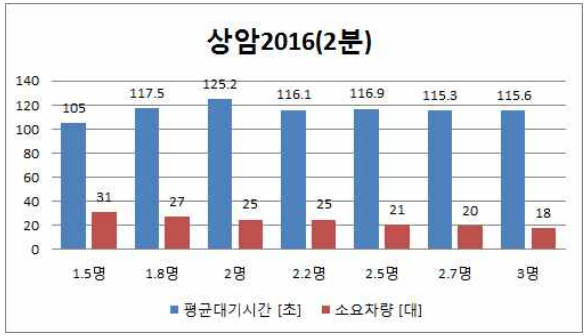
아. 소요차량대수 분석

국내 실정에 적합한 운영환경을 도출하기 위한 수요조사에 수반하여 소요차량대수의 산정이 필요하다. PRT는 기존 대중교통수단인 버스 및 철도 등의 고정된 스케쥴에 의해 운행되는 시스템과는 달리 이용자의 수요에 따라 동적으로 운행됨으로 인해 만족스러운 서비스를 제공하기 위한 차량의 소요대수의 산정이 용이하지 않다.

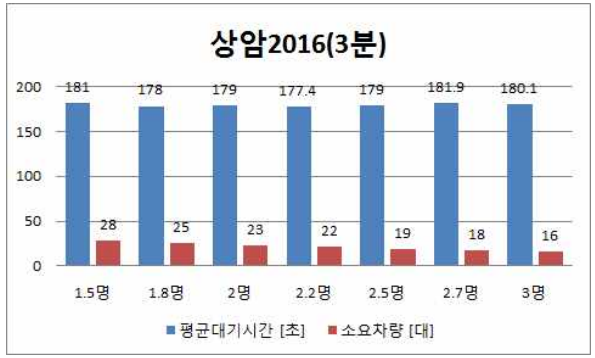
본 과제수행을 통해 구현된 PRT 네트워크 운행제어 시뮬레이터 프로그램을 이용하여 송도 및 상암 DMC에 PRT도입을 가정하여 PRT 소요차량대수를 예측하였다. 송도 및 상암 DMC의 PRT 운영노선은 앞서 3장 5절 5.가항의 운영 시나리오에 제시한 노선으로 시뮬레이션 예측을 수행하였다.

송도의 경우에 버스의 운행과 병행하는 경우 및 버스를 폐지하여 PRT만 도입하는 경우에 대하여 분석하였으며, 2016년 및 2021년의 경우에 대하여 분석하였다. PRT 이용자가 최대한 대기할 수 있는 시간을 정하지 않는 경우, 한정된 차량으로 승객을 무한정 대기시키게 되므로 승객이 이용할 수 있는 PRT차량을 대기할 수 있는 최대대기시간을 2, 3, 5, 7분으로 하여 시뮬레이션 분석하였다. 또한 차량에 탑승할 수 있는 평균승차인원은 1.5, 1.8, 2, 2.2, 2.5, 2.7, 3명으로 하여 평균대기시간 및 소요차량을 산출하였다.

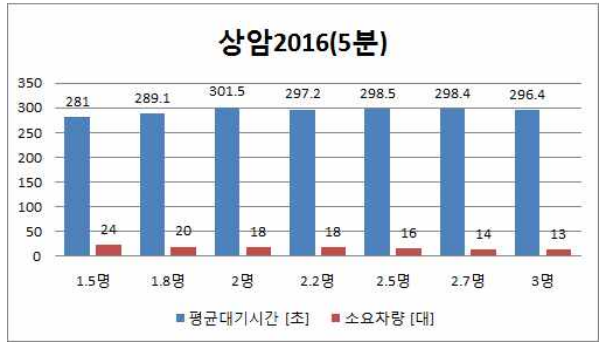
다음 그림 3.5.73~3.5.76은 2016년 상암지역에 PRT의 도입을 가정한 경우 소요차량대수이다. 최대대기시간이 2분인 경우 평균승차인원이 1.5명으로 가장 작은 경우 31대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명인 경우 18대의 차량이 필요할 것으로 예측되었다. 최대대기시간이 3분, 5분, 7분인 경우 평균승차인원이 1.5명일 때, 28, 24, 19대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명일 때, 16, 13, 10대의 PRT 차량이 소요되는 것으로 예측되었다.



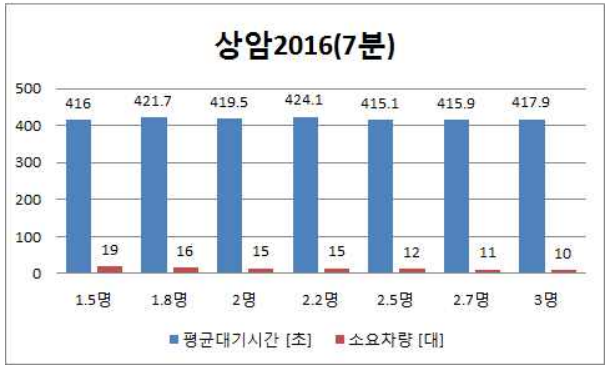
<그림 3.5.73> PRT 소요차량대수(상암, 2016년, 최대대기시간 2분)



<그림 3.5.74> PRT 소요차량대수(상암, 2016년, 최대대기시간 3분)

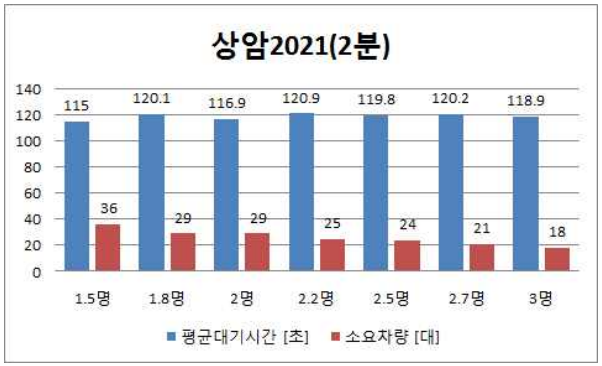


<그림 3.5.75> PRT 소요차량대수(상암, 2016년, 최대대기시간 5분)

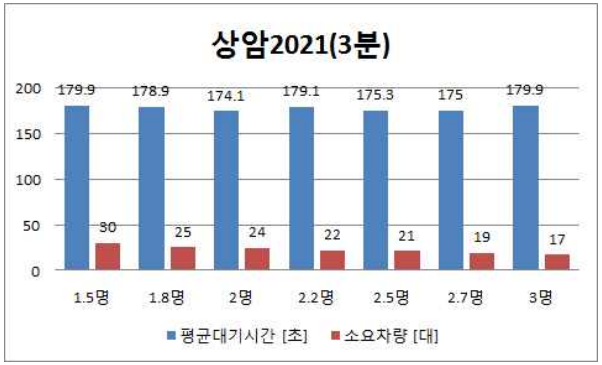


<그림 3.5.76> PRT 소요차량대수(상암, 2016년, 최대대기시간 7분)

다음 그림 3.5.77~3.5.80은 2021년 상암지역에 PRT의 도입을 가정한 경우 소요차량대수이다. 최대대기시간이 2분인 경우 평균승차인원이 1.5명으로 가장 작은 경우 36대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명인 경우 18대의 차량이 필요할 것으로 예측되었다. 최대대기시간이 3분, 5분, 7분인 경우 평균승차인원이 1.5명일 때, 30, 26, 22대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명일 때, 17, 13, 11대의 PRT 차량이 소요되는 것으로 예측되어 2016년의 소요차량대수와 유사한 것으로 분석되었다.



<그림 3.5.77> PRT 소요차량대수(상암, 2021년, 최대대기시간 2분)



<그림 3.5.78> PRT 소요차량대수(상암, 2021년, 최대대기시간 3분)

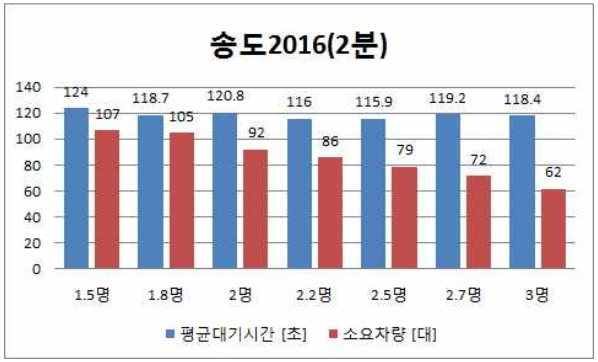


<그림 3.5.79> PRT 소요차량대수(상암, 2021년, 최대대기시간 5분)

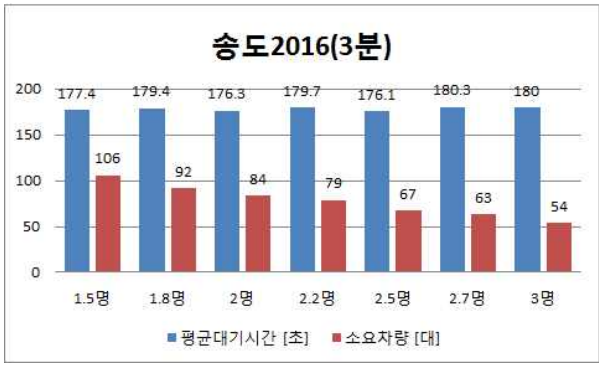


<그림 3.5.80> PRT 소요차량대수(상암, 2016년, 최대대기시간 2분)

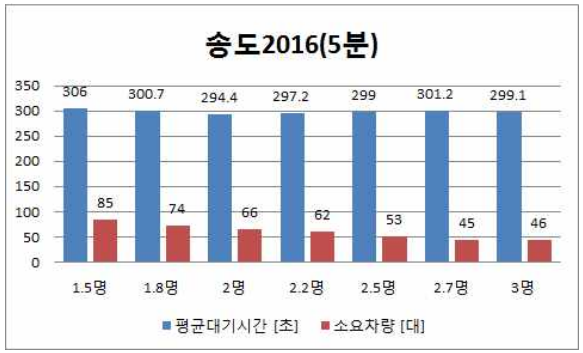
다음 그림 3.5.81~3.5.84는 2016년 송도지역에 PRT의 도입을 가정한 경우 소요차량대수이다. 최대대기시간이 2분인 경우 평균승차인원이 1.5명으로 가장 작은 경우 107대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명인 경우 62대의 차량이 필요할 것으로 예측되었다. 최대대기시간이 3분, 5분, 7분인 경우 평균승차인원이 1.5명일 때, 106, 85, 72대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명일 때, 54, 46, 37대의 PRT 차량이 소요되는 것으로 예측되었다.



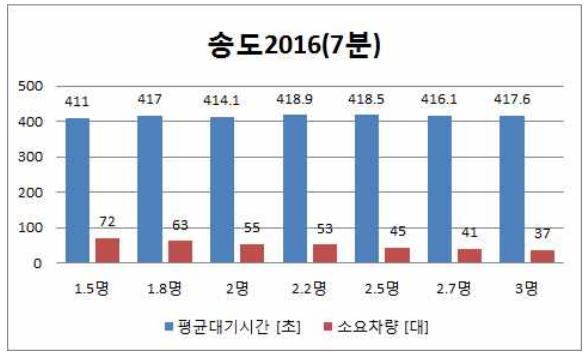
<그림 3.5.81> PRT 소요차량대수(송도, 2016년, 최대대기시간 2분)



<그림 3.5.82> PRT 소요차량대수(송도, 2016년, 최대대기시간 3분)

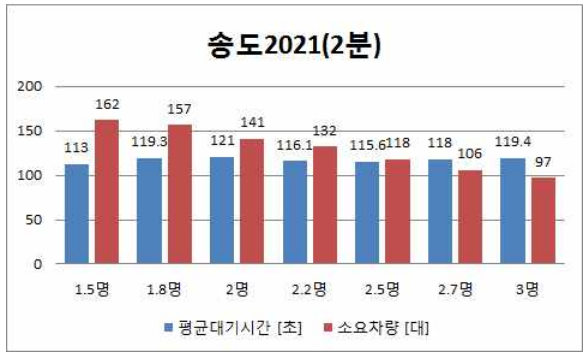


<그림 3.5.83> PRT 소요차량대수(송도, 2016년, 최대대기시간 5분)

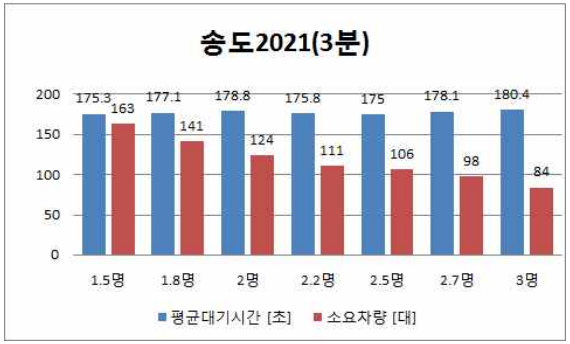


<그림 3.5.84> PRT 소요차량대수(송도, 2016년, 최대대기시간 7분)

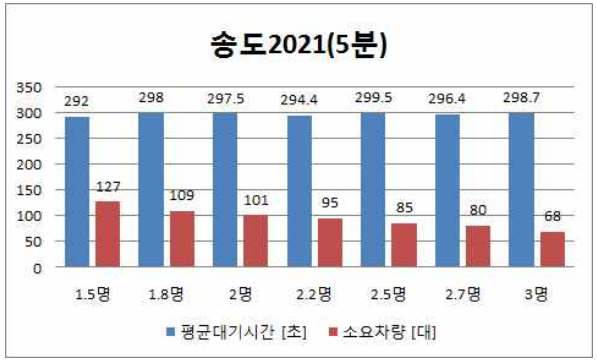
다음 그림 3.5.85~3.5.88은 2021년 송도지역에 PRT의 도입을 가정한 경우 소요차량대수이다. 최대대기시간이 2분인 경우 평균승차인원이 1.5명으로 가장 작은 경우 162대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명인 경우 97대의 차량이 필요할 것으로 예측되었다. 최대대기시간이 3분, 5분, 7분인 경우 평균승차인원이 1.5명일 때, 162, 163, 127대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명일 때, 84 68, 56대의 PRT 차량이 소요되는 것으로 예측되어 상암의 경우와는 달리 2016년의 경우에 비해 소요차량대수의 증가가 현저하게 나타난다. 이는 송도의 신도시 계획에 따른 인구증가 비율이 상암에 비해 높기 때문인 것으로 판단된다.



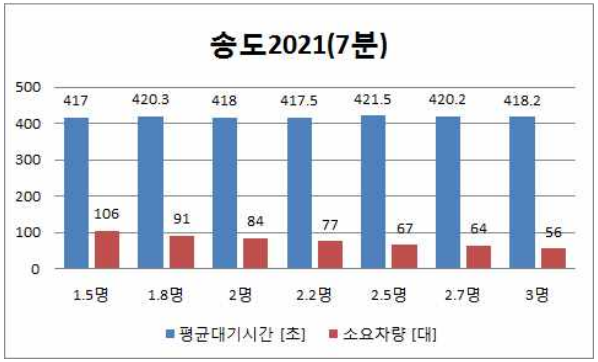
<그림 3.5.85> PRT 소요차량대수(송도, 2021년, 최대대기시간 2분)



<그림 3.5.86> PRT 소요차량대수(송도, 2021년, 최대대기시간 3분)

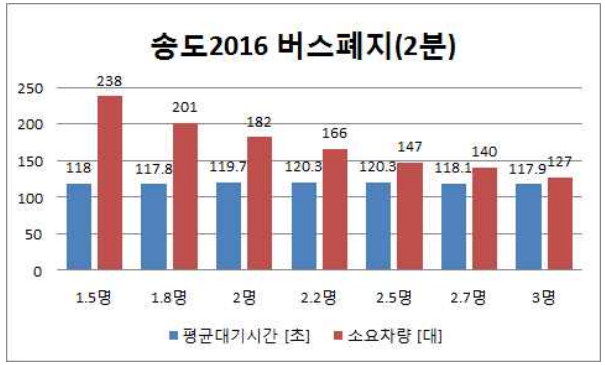


<그림 3.5.87> PRT 소요차량대수(송도, 2021년, 최대대기시간 5분)

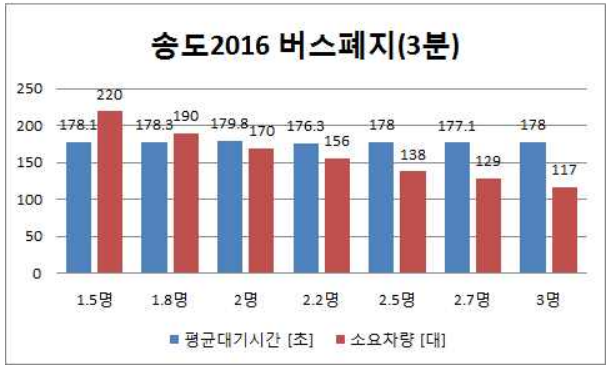


<그림 3.5.88> PRT 소요차량대수(송도, 2021년, 최대대기시간 7분)

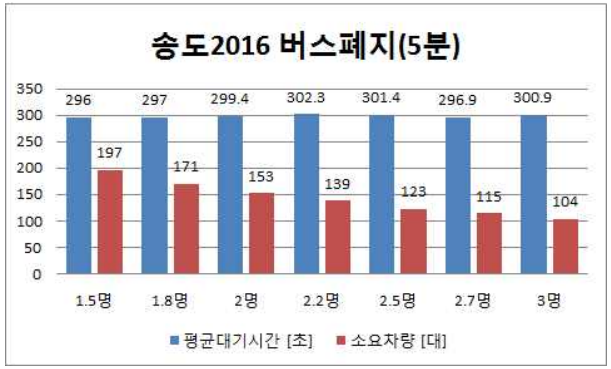
다음 그림 3.5.89~3.5.92는 2016년 송도지역에 버스를 폐지하고 PRT의 도입을 가정한 경우 소요차량대수이다. 최대대기시간이 2분인 경우 평균승차인원이 1.5명으로 가장 작은 경우 238대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명인 경우 127대의 차량이 필요할 것으로 예측되었다. 이는 버스의 폐지를 가정하지 않은 경우에 비해 약 2배의 PRT 차량이 소요될 것으로 분석된다. 또한, 최대대기시간이 3분, 5분, 7분인 경우 평균승차인원이 1.5명일 때, 220, 197, 178대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명일 때, 117, 104, 94대의 PRT 차량이 소요되는 것으로 예측되었다.



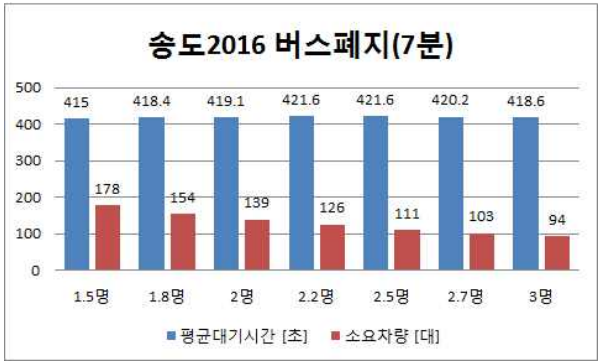
<그림 3.5.89> PRT 소요차량대수(송도-버스폐지, 2016년, 최대대기시간 2분)



<그림 3.5.90> PRT 소요차량대수(송도-버스폐지, 2016년, 최대대기시간 3분)



<그림 3.5.91> PRT 소요차량대수(송도-버스폐지, 2016년, 최대대기시간 5분)

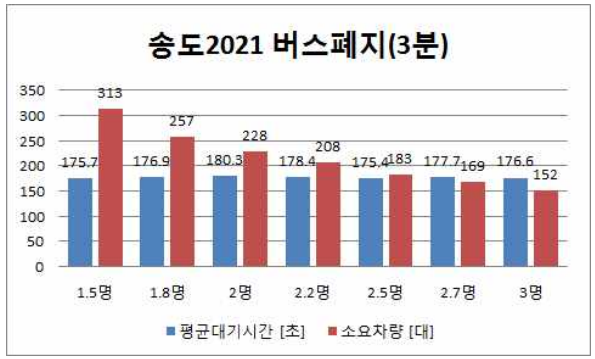


<그림 3.5.92> PRT 소요차량대수(송도-버스폐지, 2016년, 최대대기시간 7분)

다음 그림 3.5.93~3.5.96은 2021년 송도지역에 버스를 폐지하고 PRT의 도입을 가정한 경우 소요차량대수이다. 최대대기시간이 2분인 경우 평균승차인원이 1.5명으로 가장 작은 경우 340대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명인 경우 164대의 차량이 필요할 것으로 예측되었다. 최대대기시간이 3분, 5분, 7분인 경우 평균승차인원이 1.5명일 때, 313, 272, 238대의 PRT 차량이 필요하며, 평균승차인원이 3명일 때, 152, 136, 123대의 PRT 차량이 소요되는 것으로 예측되었다. 이는 앞서 버스와 병행운영하는 경우와 마찬가지로 송도의 신도시 계획에 따른 인구증가 비율이 상암에 비해 높기 때문인 것으로 판단된다. 2021년 송도신도시의 인구가 증가하고 버스가 폐지되는 경우 최대대기시간이 2분으로 가장 짧은 경우 PRT의 차량은 최대 340대가 소요될 것으로 예측된다.



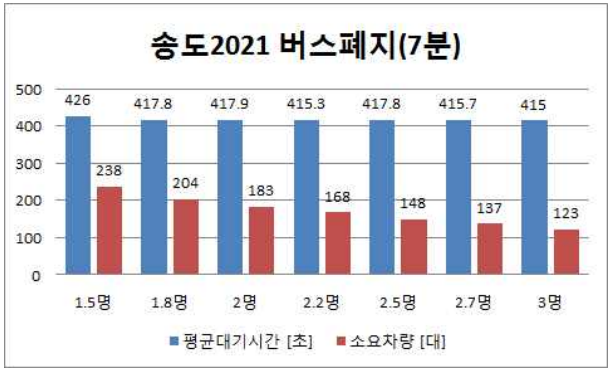
<그림 3.5.93> PRT 소요차량대수(송도-버스폐지, 2021년, 최대대기시간 2분)



<그림 3.5.94> PRT 소요차량대수(송도-버스폐지, 2021년, 최대대기시간 3분)



<그림 3.5.95> PRT 소요차량대수(송도-버스폐지, 2021년, 최대대기시간 5분)



<그림 3.5.96> PRT 소요차량대수(송도-버스폐지, 2021년, 최대대기시간 7분)

6. 법/제도 제·개정(안) 검토

가. 법령 정비방안

전용궤도 사용 않을 경우는 도시철도법으로 해석 불가하고 전용의 독립주행로로 운행하여 무인운전될 경우에는 도시철도로 해석(가능)이 가능[12]하여, 도시철도법 적용이 가능하다

· 사전에 건설 및 운영에 필요한 요소들을 법적으로 정의하고, 필요한 사항에 대한 법적 구속력을 먼저 갖출 수 있어야 안전하고 효율적인 시스템의 운용이 가능하며, 이를 위해서는 기존 법률을 개정하거나 별도 제정이 필요한 상황이다.

- 순천만 소형전철(포스코 ICT, 네트워크 개념 제외)사업의 경우 일반사업법(구 궤도 삭도법)으로 진행하고 있다. 관련한 법의 비교는 표 3.5.85와 같다

<표 3.5.85> 도시철도법과 궤도운송법 관련 비교표

구 분	도시철도	궤도운송
목적	-도시교통권역의 원활한 교통 소통을 위하여 도시철도의 건설을 촉진하고 그 운영을 합리화하며 도시철도차량 등을 효율적으로 관리함으로써 도시교통의 발전과 도시교통 이용자의 안전 및 편의 증진에 이바지함을 목적으로 한다.	-궤도시설(軌道施設)의 안전을 확보하고, 궤도운송과 궤도사업의 능률적인 운영 및 발전을 도모하여 공공복리(公共福利)를 증진함을 목적으로 한다.
정의	-"도시철도"란 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에서 건설·운영하는 철도·모노레일·노면전차·선형유도전동기·자기부상열차 등 궤도(軌道)에 의한 교통시설 및 교통수단을 말한다.	-"궤도"란 사람이나 화물을 운송하는 데에 필요한 궤도시설과 궤도차량 및 이와 관련된 운영·지원 체계가 유기적으로 구성된 운송 체계를 말하며, 삭도(索道)를 포함한다.
적용 범위	-국가가 법에 따라 건설·운영하는 도시철도 -도시철도사업 면허를 받은 지방자치단체, 도시철도사업을 하는 도시철도공사 또는 다른 법인이 건설, 운영하는 도시철도 -국가나 지방자치단체로부터 도시철도의 건설과 운영을 위탁받은 법인이 건설·운영하는 도시철도	-도시철도 및 도시철도사업 -철도 및 철도사업 -관광진흥법을 적용받는 유기시설(遊技施設) -광산보안법을 적용받는 운반시설 -승강기시설 안전관리법을 적용받는 승강기 -군사 목적이나 연구개발 등의 목적으로 설치, 운영하는 궤도 -개인 또는 법인의 사유지에서 적재량 500킬로그램 미만(삭도의 경우에는 200킬로그램 미만)의 화물만을 운송하는 궤도
사업 시행 방법	-시·도지사는 관할 도시교통권역에서 도시철도를 건설·운영할 필요가 있다고 인정하면 관계 시·도지사와 협의하여 10년 단위의 도시철도기본계획을 수립하여 국토해양부장관에게 제출하여야 한다. -도시철도사업을 하려는 자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 국토해양부장관의 면허를 받아야 한다.	-궤도사업을 경영하려는 자는 시장·군수·구청장의 허가를 받아야 한다.
사업 면허 (허가) 신청	-도시철도사업면허신청서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 국토해양부장관에게 제출하여야 한다. 1. 사업계획서 가. 사업의 종류 나. 사업의 목적 다. 사업구역 라. 도시철도의 노선계획도 마. 도시철도의 부대시설 건설계획 바. 도시철도의 건설기간 사. 자금 조달방법 아. 건설 후 도시철도의 운영계	-궤도사업허가신청서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 제출하여야 한다. 1. 사업계획서 2. 기본설계도서 3. 공사설명서 4. 안전검사전문기관의 안전 검토의견서 5. 관할 행정기관 등의 허가나 승인 서류 6. 환경·교통·재해 영향평가 결과서 -화물용(가설용 포함) 전용궤도의

12) 도시철도법 제3조 1."도시철도"란 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에 건설·운영하는 철도, 모노레일, 노면전차, 선형유도전동기, 자기부상열차 등 궤도에 의한 교통시설 및 교통수단을 말한다.

구 분	도시철도	궤도운송
	획 2. 신청인 및 임원의 신원증명서	신고를 하려는 자는 전용궤도 운영신고서를 시장·군수·구청장에게 제출하여야 한다. 1. 시설운영계획서 가. 전용궤도의 운영 목적 나. 궤도시설의 종류·방식 및 특징 다. 운영기간 2. 기본설계도서, 공사설명서
사업계획 승인	-도시철도사업 면허를 받은 자가 기본계획의 범위에서 도시철도를 건설·운영하려는 경우에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 도시철도사업계획을 수립하여 국토해양부장관의 승인을 받아야 한다. -사업계획의 승인을 신청할 때에는 미리 그 뜻을 공고(公告)하고 관계 서류의 사본을 20일 이상 일반인이 열람할 수 있게 하여야 한다. 이 경우 도시철도시설 부지에 편입되는 토지의 소유자 및 「공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률」에 따른 소유자에게 그 사실을 통보하여야 한다. 다만, 소유자를 알 수 없거나 주소 불명(부명) 등 대통령령으로 정하는 경우에는 그 통지를 하지 아니할 수 있다. -소유자는 사업계획의 승인을 신청하는 자에게 열람 기간에 의견서를 제출할 수 있다. -사업계획의 승인을 신청하는 자는 제출된 의견이 타당하다고 인정하면 사업계획 승인신청 내용에 이를 반영하여야 하고, 반영하지 아니한 의견은 신청서에 첨부하여야 한다. -국토해양부장관은 사업계획을 승인할 때 첨부된 의견이 타당하다고 인정할 때에는 이를 반영하여야 한다. -국토해양부장관은 사업계획을 승인하면 이를 관보(官報)에 고시(告	-전용궤도를 운영하려는 자는 시장·군수·구청장의 승인을 받아야 한다. -법 제5조 본문에 따라 전용궤도를 운영하려는 자는 별지 제3호서식의 전용궤도승인신청서(전자문서로 된 신청서를 포함한다)에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 시장·군수·구청장에게 제출하여야 한다. 1. 시설운영계획서 가. 주사무소 및 영업소의 명칭· 위치 나. 전용궤도시설의 운영 목적 다. 전용궤도시설의 종류·방식 라. 다른 법령에 따라 허가·등록·승인·신고의 대상이 되는 사업 등의 부대시설임을 증명하는 서류 2. 사업허가신청서류 2~6호까지의 서류 중 해당하는 서류

구 분	도시철도	궤도운송
	示)하여야 한다.	
공사의 시행	-도시철도의 건설 및 운전에 관하여는 국토해양부령으로 정하는 바에 따른다.	-궤도사업자는 궤도사업의 허가를 받은 날부터 2년 이내에 궤도시설의 공사에 착수하여야 한다.
정부 지원	-정부는 지방자치단체나 도시철도공사가 시행하는 도시철도의 건설을 위하여 재정적 지원이 필요하다고 인정되면 소요자금의 일부를 보조하거나 융자할 수 있다. -정부는 법인이 시행하는 도시철도의 건설을 위하여 필요하다고 인정되면 소요자금의 일부를 융자할 수 있다. -정부는 도시철도기술의 발전을 위하여 대통령령으로 정하는 도시철도기술을 연구하는 기관 또는 단체에 보조 등 재정적 지원을 할 수 있다. -지방자치단체는 정부의 자금지원을 받아 도시철도를 건설 또는 운영하는 경우 도시철도기술의 발전을 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 연구기관등에 보조하거나 출연(出捐)할 수 있다.	-
시설 운행	-국가나 지방자치단체에 귀속되는 도시철도의 시설물은 도시철도건설공사의 준공과 동시에 단계별로 국가 또는 해당 지방자치단체에 귀속한다. -수탁법인은 국가나 지방자치단체에 귀속되는 도시철도 시설물의 목록을 작성하여 국가 또는 해당 지방자치단체에 제출하여야 한다. -도시철도의 건설과 운영을 위탁한 국가 또는 지방자치단체는 도시철도 시설물을 무상으로 운영하는 수탁법인에게 도시철도 시설물의 증설(차량의 증량을 포함)과 보수에 필요한 사항을 명할 수 있다. -수탁법인이 도시철도 시설물을 증설한 경우에는 그에 든 비용은 도시철도 시설물에 투입한 비용으로 본다. -수탁법인은 도시철도의 건설과 운영	-시장·군수·구청장 또는 특별시장·광역시장은 준공검사를 한 결과 다음 각 호의 사항을 충족한다고 인정되면 국토해양부령으로 정하는 바에 따라 준공검사 신청인에게 준공검사증을 발급하여야 한다. 1. 궤도사업 허가·승인을 받거나 신고한 내용대로 공사가 되었을 것 2. 궤도시설이 안전검사기준에 적합할 것 3. 특별건설승인을 받은 궤도시설의 경우 자체 안전관리규정에 적합할 것 4. 건설회사, 궤도차량 제작사 등이 제공하는 주요 부품의 시험성적서, 취급·유지·보수매뉴얼, 설치도면 등의 자료를 갖춰두고 있을 것

구 분	도시철도	궤도운송
	에 관한 규정을 정하여 국가 또는 그 위탁을 한 지방자치단체의 승인을 받아야 한다. -수탁법인은 다음 각 호의 사항에 대하여 미리 도시철도의 건설과 운영을 위탁한 국가 또는 지방자치단체의 승인을 받아야 한다. 1. 도시철도의 건설과 운영에 관한 사업계획 2. 도시철도건설에 관한 각종 설계 3. 도시철도건설공사의 시행 4. 도시철도 운영제도의 변경 5. 연도별 도시철도 운수사업계획 및 결산 -수탁법인이 도시철도건설공사를 준공하였을 때에는 해당 도시철도의 건설과 운영을 위탁한 국가 또는 지방자치단체의 준공검사를 받아야 한다. -국가나 지방자치단체는 수탁법인이 시행하는 도시철도건설공사와 도시철도 시설물의 관리에 대하여 필요한 지시를 할 수 있다.	5. 궤도시설의 안전관리계획이 수립되어 있을 것
안전관리	-도시철도차량은 대통령령으로 정하는 구조와 장치가 국토해양부령으로 정하는 안전기준에 적합하지 아니하면 운행하지 못한다. -대통령령으로 정하는 도시철도시설은 다른 법률에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 국토해양부령으로 정하는 안전기준에 맞게 설치하고 유지·관리하여야 한다.	-궤도사업자 또는 전용궤도운영자는 해당 궤도시설에 대하여 시장·군수·구청장 또는 특별시장·광역시장이 실시하는 다음 각 호의 안전검사를 받아야 한다. 1. 정기검사: 매년 실시하는 검사 2. 임시검사: 운행 중에 궤도운송사고가 발생하였거나 발생할 우려가 있는 경우

나. 기존법령 정비방안(도시철도법 개정 방안)

· 도시철도법 제3조 도시철도의 정의에 PRT 포함여부 판단 필요하다.

· 도시철도 정의에 따른 시행령, 시행규칙, 도시철도건설·운전규칙 등 하위법 규정 정비가 요구된다.

· PRT 표준규격 및 성능시험기준 제정

관련 법령 정비(도시철도법 제3조 1) : 역사내 화장실 설치(공중화장실등에 관한 법률 제3조 적용범위에 정의)를 역사 규모 등에 따라 예외 적용하고 건물내 차량 진출·입에 대한 조항 추가 필요하다고 판단된다.

PRT 시스템대비 다른 규정은 시험 평가후에 정량적으로 제시되어야 하나, 도시철도건설규칙 대해서는 사전에 시스템 특징 및 사양 정의에 따라 기술되는 내용이 대부분으로 검토결과는 다음과 같다.

<표 3.5.86> 도시철도건설규칙 관련 조항 및 검토내용

관련 조항	내 용
제2장 선로	
제6조 (궤간)	궤간의 치수는 1천435밀리미터로 한다. **☞ PRT 차량 사양에 따라 달라질 수 있음.**
제10조 (선로의 곡선반경등)	①선로의 곡선반경은 선로의 구간 및 기능등에 따라 각각 그 크기를 다르게 할 수 있다. ②제1항의 규정에 의한 곡선반경의 크기는 시·도지사가 정한다.
제11조 (캔트)	①곡선부의 바깥쪽 레일에는 열차의 운행안전을 위하여 캔트(열차의 원심력에 의한 탈선이나 전복을 막기 위하여 바깥쪽레일을 안쪽레일보다 높게 부설하는 것을 말한다)를 두어야 한다. 다만, 분기부에 부대되는 곡선의 경우에는 그러하지 아니하다. ②제1항의 규정에 의한 캔트의 크기는 당해곡선의 반경·열차의 운행속도등을 고려하여 시·도지사가 정하되, 그 최대의 크기는 160밀리미터를 초과할 수 없다. **☞ PRT 차량 사양에 따라 최대 캔트량은 달라질 수 있음.**
제12조 (캔트의 체감거리)	캔트의 체감거리는 다음 각호와 같다. 1. 완화곡선이 있는 경우에는 그 곡선 전체의 거리 2. 완화곡선이 없는 경우에는 제11조제2항의 규정에 의한 캔트(이하 "표준캔트"로 한다)의 600배이상의 거리 3. 복심곡선이 있는 경우에는 반경이 큰 곡선상에서의 캔트차의 600배이상의 거리 4. 제1호 내지 제3호의 경우로서 시·도지사가 정하는 부득이한 경우에는 표준캔트의 450배이상의 거리 **☞ 상기 기준은 중량전철 전동차 크기에 따라 정해진 것으로서, PRT 차량 사양에 따라 달라질 수 있음.**
제13조 (완화곡선)	①본선의 경우에 곡선반경이 800미터이하의 곡선과 직선이 접속하

관련 조항	내 용
	는 곳에는 상당한 완화곡선을 삽입하여야 한다. 다만, 분기부에 부대되는 곡선인 경우에는 그러하지 아니하다. ②제1항의 규정에 의한 완화곡선의 길이는 표준캔트의 600배이상으로 한다. 다만, 부득이한 경우에는 표준캔트의 450배까지 감축시킬 수 있다. **☞ 완화곡선 길이 역시 중량전철 전동차 크기에 준하여 정하여진것으로서 PRT 차량 사양에 따라 달라질 수 있음.**
제15조 (정거장밖의 기울기한도)	①정거장밖의 지역에 있는 본선의 기울기는 1천분의 35를 초과하여서는 아니된다. ②곡선인 선로에 기울기를 두는 경우에는 제1항의 규정에 의한 한도에 상당한 곡선보정을 한 기울기를 그 한도로 한다. **☞ PRT 차량 성능 사양에 따라 기울기한도가 달라질 수 있음.**
제16조 (정거장안의 기울기한도)	정거장안에 있는 본선의 기울기는 다음 각호의 한도를 초과하여서는 아니된다. 1. 본선이 차량을 분리·연결 또는 유치용도로 사용되는 경우 : 1천분의 3 2. 제1호외의 경우 : 1천분의 8(부득이한 경우에는 1천분의 10) **☞ 본선에서 분기되어 별도 오프라인에 정거장이 설치되므로 조항의 문구 수정이 필요하며 기울기한도 또한 차량 성능 사양에 따라 달라질 수 있음.**
제18조 (종곡선)	선로의 기울기가 변하는 경우로서 인접 기울기의 변화가 1천분의 5를 초과하는 경우에는 반경 3천미터이상의 종곡선을 삽입하여야 한다. **☞ PRT 차량 사양에 따라 종곡선 반경이 달라질 수 있음.**
제19조 (건축한계)	도시철도에는 차량의 흔들림이나 선로의 비틀림등을 고려하여 차량의 안전운행에 필요한 공간(이하 "건축한계"라 한다)을 두어 건물 기타 시설을 설치할 수 없도록 하여야 한다. 다만, 가공전차선 및 그 현수장치 또는 선로보수등의 작업에 필요하여 일시적으로 설치하는 시설등으로서 열차의 안전운행에 지장이 없는 경우에는 그러하지 아니하다.

관련 조항	내 용
제22조 (궤도의 중심간격)	①열차가 상호 반대방향으로 운행되는 본선궤도의 경우에는 열차의 안전 및 승객등의 안전을 위하여 그 궤도간의 간격은 충분한 거리를 두고 설치하여야 한다. ②제1항의 규정에 의한 궤도의 간격은 당해궤도의 지상부·지하부·궤도병설수 및 차체규격등을 고려하여 시·도지사가 그 기준을 정한다. 이 경우 궤도사이에 가공전차선지주나 신호기지주등을 설치하는 경우에는 당해부분만큼 궤도의 간격을 확대하여야 한다. **☞ PRT시스템은 일방향 선로로 해당 조항 불필요하나, 향후 양방향 선로를 고려할 경우 상기 조항 검토 필요함.**
제26조 (건축한계외의 여유공간)	구조물과 건축한계와의 사이에는 시·도지사가 정하는 바에 따라 전기·신호·통신·통로 기타 시설의 설치에 필요한 여유공간을 두어야 한다.
제27조 (도로면등으로부터의 간격)	①도로면과 지하구조물의 윗면과의 사이 또는 도로면과 고가구조물의 밑면과의 사이에는 안전확보와 통신·배관등 지하매설물이나 지상가설물의 설치등에 필요한 일정기준이상의 깊이 또는 높이를 확보하여야 한다. 다만, 개구부등 지형상 부득이한 경우로서 안전에 지장이 없다고 인정되는 경우에는 그러하지 아니하다. ②제1항 본문의 규정에 의한 깊이 또는 높이의 기준은 지질등을 고려하여 시·도지사가 정한다. ③하천의 밑을 지나는 터널의 윗면과 하천의 계획준설면과의 사이에는 하천의 유지·관리 및 도시철도 시설물의 보호등을 위하여 시·도지사가 정하는 기준이상의 깊이를 확보하여야 한다.
제29조 (분기)	본선으로부터의 선로의 분기는 정거장안에서 하거나 신호소가 있는 곳에서 하여야 한다. 다만, 상당한 보안설비를 하는 경우에는 그러하지 아니하다. **☞ PRT시스템은 본선에서 분기되어 별도의 오프라인에 정거장이 설치되므로 상기 조항 수정 필요함.**
제3장 정거장	
제30조 (정거장의 시설·설비)	정거장에는 승강장·대합실·화장실 및 통로 등 여객의 도시철도이용에 필요한 시설과 전기·통신설비 등을 설치하여야 하며, 이에 필요한 세부적인 사항은 국토해양부장관이 정하여 고시한다.

관련 조항	내 용
	☞ PRT 정거장에 필요한 시설을 새롭게 규정함이 필요함.
제30조의2 (승강장의 안전시설)	①승강장에는 승객의 안전사고를 방지하기 위하여 다음 각호의 어느 하나에 해당하는 안전시설을 설치하여야 한다. 1. 안전펜스 2. 전동차 출입문과 연동되어 개폐되는 승하차용 출입문 설비(이하 "스크린도어"라 한다) ②스크린도어는 다음 각호의 기준에 적합하게 설치하여야 한다. 1. 승객이 전동차와 스크린도어 사이에 끼는 것을 방지할 수 있도록 승강장의 연단으로부터 스크린도어의 출입문까지의 거리는 10센티미터 이내일 것. 다만, 다음 각목의 어느 하나에 해당하는 경우에는 승강장의 연단으로부터 스크린도어의 출입문까지의 거리를 10센티미터 이상으로 할 수 있다. 가. 승강장의 구조가 곡선인 경우. 이 경우에는 바깥쪽레일의 캔트에 따라 조정하여 설치하여야 한다. 나. 스크린도어를 제어하기 위한 설비와 감시용 모니터가 설치되는 승강장의 양끝지역인 경우 다. 도시철도의 여객운송차량과 화물운송차량을 함께 운용하는 선로 구간의 승강장인 경우 2. 승객이 전동차와 스크린도어 사이에 끼었을 경우 이를 감지하여 승무원과 역무원에게 인지시킬 수 있는 경보장치를 설치할 것 3. 스크린도어의 재질은 도시철도차량안전기준에관한규칙 제10조제1항의 규정에 의한 불연재료 또는 동조제3항의 규정에 의한 재료를 사용할 것 4. 화재발생 등 비상상황이 발생하는 경우 수동으로 출입문을 열 수 있도록 할 것 5. 승강장의 구조와 승강장의 바닥구조물의 강도를 고려하여 설치할 것 ③차량과 승강장 연단의 간격이 10센티미터가 넘는 부분에는 안전발판 등 승객의 실족을 방지하는 설비를 설치하여야 한다.

관련 조항	내 용
	☞ PRT 승강장에 필요한 안전시설에 대하여 새롭게 규정함이 필요함.
제30조의3 (정거장간 거리)	도시철도의 정거장간 거리는 1킬로미터 이상으로 하되, 교통수요·경제성·지형여건 및 다른 교통수단과의 연계성 등을 종합적으로 고려하여 이를 조정할 수 있다. **☞ PRT시스템 역간 거리는 200~500미터 정도이므로 수정이 필요함.**
제31조 (승강장의 너비)	①승강장의 너비는 다음 각호의 기준에 의한다. 다만, 승객의 이용이 적은 승강장의 양끝지역에서는 다음 각호의 기준보다 좁게 할 수 있다. 1. 본선과 본선사이에 설치된 승강장의 경우에는 8미터 이상 2. 본선의 양옆에 설치된 승강장의 경우에는 4미터 이상 ②승강장의 연단으로부터 너비 1.5미터, 높이 2미터이내의 공간에는 승객의 실족·추락방지시설, 대피시설 등 안전시설 외에는 기둥·계단 등 어떠한 시설도 설치하여서는 아니된다. ③시·도지사는 당해지역의 여건상 불가피하다고 인정되는 경우에는 제1항 및 제2항의 규정에 불구하고 승강장의 너비를 기준이하로 하거나 승강장의 주위에 기둥이나 계단을 설치하게 할 수 있다. **☞ PRT 정거장특성에 맞추어 승강장 기준이 새롭게 마련되어야 하고, 특히 복수의 정차대 관련 규정이 추가가 필요함.**
제32조 (승강장연단의 높이)	승강장의 연단은 레일의 윗면으로부터 1.135미터 높이에 설치하는 것을 표준으로 한다. **☞ PRT 차량 사양에 따라 조정이 필요함.**
제33조 (승강장연단과 차량한계와의 간격)	①승강장의 연단은 제51조의 규정에 의한 차량한계로부터 50밀리미터의 간격을 띠어 설치하여야 한다. ②선로가 곡선으로 되어 있는 승강장은 제1항의 규정에 의한 간격에 제21조제2항의 규정에 의한 치수를 가산하여 설치하여야 한다.

관련 조항	내 용
	☞ PRT 차량 사양에 따라 조정이 필요함.
제34조 (승강장·통로의 길이·폭)	승강장의 유효길이 및 통로의 폭은 당해 노선의 수송수요 및 운전계획 등을 고려하여 정하되, 이에 필요한 세부적인 사항은 국토해양부장관이 정하여 고시한다.
제35조 (노면출입구 및 지상보행로)	노면출입구를 지상보도에 설치하는 경우에는 당해출입구를 제외한 지상보행로의 폭이 2미터이상이 되도록 하여야 한다.
제35조의3 (정거장의 구조물 등의 마감재료)	①정거장의 각 구조물 등에 사용되는 마감재료 등은 다음 각호의 기준에 의한다. 1. 승강장 및 대합실에 사용되는 마감재료는 건축법시행령 제2조제10호의 규정에 의한 불연재료(이하 이 조에서 "불연재료"라 한다)를 사용하여야 한다. 다만, 냉방장치 등 기계설비가 설치된 장소의 바닥에 사용되는 마감재료는 불연재료를 사용하지 아니할 수 있다. 2. 복도·계단 및 통로에 사용되는 마감재료는 불연재료를 사용하여야 한다. 3. 조립식 칸막이의 외부에 사용되는 마감재료는 불연재료를 사용하여야 하며, 조립식 칸막이의 내부에 사용되는 재료는 불연재료 또는 건축법시행령 제2조제11호의 규정에 의한 준불연재료(이하 이 조에서 "준불연재료"라 한다)를 사용하여야 한다. 4. 실내장식물은 불연재료·준불연재료 또는 소방시설설치유지및안전관리에관한법률 제12조제1항의 규정에 의한 물품을 사용하여야 한다. 5. 가판대·안내소·공중전화부스 등의 편의시설에 사용되는 마감재료는 불연재료를 사용하여야 한다. ②제1항의 규정에 의한 마감재료는 정거장 구조물의 균열·누수 또는 노후화를 쉽게 점검할 수 있도록 적절한 방법에 따라 설치하여야 한다.

이와 같이 현재 제정된 도시철도건설규칙은 중량전철시스템에 기준하여 제정된 것으로서, PRT시스템 건설시 적용하는 것은 곡선, 기울기 등 선로선형기준, 정거장기준의 선로구축물이외에도 전기·통신·신호 등 설비기준 등의 면에서 불합리한 점이 있다. 최근, 2009년 국토해양부에서 시행하여 한국철도기술연구원에서 경량전철, 노면전차, 모노레일에 대한 건설 기준 제정(안)을 마련한 바 있다.

한편, 국토해양부에서 2010년에 고시한 「궤도시설의 건설에 관한 설비기준(舊 삭도·궤도 건설에 관한 세부기준)」에는 일반 삭도, 케이블 철도, 노면전차, 모노레일, 자기부상열차, 철제차륜형 경전철, 고무차륜형 경전철, 선형유도전동기형 경전철 건설에 관한 기준만을 다루고 있다.

이와 같이 관련법령 검토 결과, 별도의 PRT시스템 선로구축물 건설을 위한 표준화 기준 마련이 필요하며 특히, 타도시철도교통수단과 달리 본선에서 분기되어 별도의 오프라인으로 연결되는 정거장과 복수의 정차대를 갖는 승강장, 완전무인운전에 따른 장애인, 임산부, 노약자 등 교통약자를 위한 안전·편의 시설 등에 대한 표준화된 PRT 정거장 건설 기준이 필요하다.

다. 해외사례

· 영국(히드로)

: 운영을 위한 별도 규정(Railway other guidance system)제정하여 적용

- 기존 2004/49/EC(철도안전지침)의 토대에서 철도와 “Railway other guidance system”(2010년 제정)으로 분리 규정하여 적용하고 있다.
- 기존 철도규정과는 차별화 40km/h이하
- 예외조항 : 운행속도 40km/h 이상의 노선에서 간선시스템과 인터페이스하여 운행시 40km/h 이하로 운행
- 철도규정으로 제3기관에서 승인

· 아랍에미레이트연방(마스다르)

- 초기 시범운영으로 별도 운영을 위한 규정 없이 운영되고 있다.

7. PRT 국내적용을 위한 기술검토

미래교통수단인 PRT의 국내적용을 위하여 향후의 도시 여건 변화를 다음과 같이 유추할 수 있다.

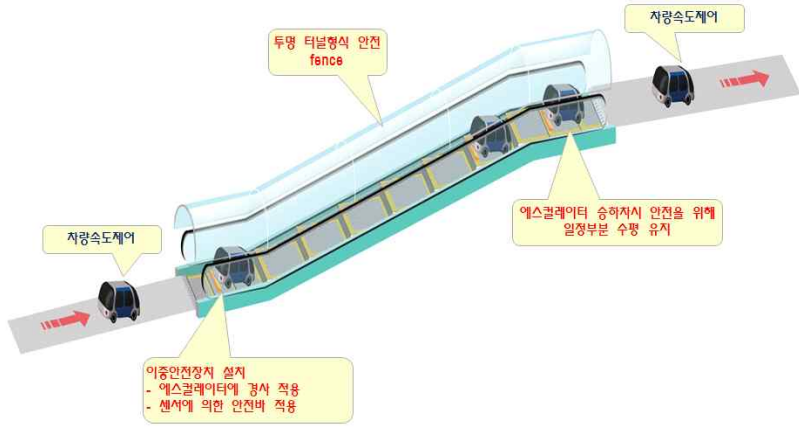
○ 통신매체의 발달에 따른 통행량 감소
○ 고령화로 인한 통행량의 감소(발생통행량 감소, 통근, 통학통행 감소)
○ 도보와 환승통행의 증가, 목적 및 수단통행의 감소
○ 고밀도 개발로 인한 통행거리의 감소
○ 자동물류수송시스템으로 인한 물류수송교통량의 감소
○ 초고층 수직도시의 개발로 인한 건물 내부의 통행비율 증가
○ 건물 내부 간, 건물과 지하공간의 수직이동 패턴 증가
○ 개인교통수단 이용의 감소, 대중교통수단 이용의 증가
○ 협소한 지역내 다양한 교통수단간 환승 증가

현대 건축기술의 발달과 새로운 주거문화의 변화에 따른 고밀도 도시에서 발생하는 교통수요가 일시에지상의 도로교통수단으로 집중될 경우 현재와 같은 개인교통수단으로는 이들 교통수요를 처리하기가 거의 불가능할 것으로 예측된다. 따라서 향후 미래도시의 교통수단으로는 현재의 교통수단은 부적합하며 별도의 타 교통수단 도입이 필요할 것으로 예상된다.

미래사회가 현재보다 고밀도의 도시로 바뀌면서 초고층 수직도시의 형태로 변모할 경우 건물 내부이자 도시 내부는 수직개념으로 신속하게 이동할 수 있는 이동수단이 필요하고 수평적으로도 타 동선체계와 간섭없이 이동해야 하는 이동수단이 필요하게 될 것이며, 현재의 수평적인 이동 동선 및 통행행태와는 다르게 건물 내부간, 지하공간과 지상공간과의 수직적 이동패턴 등이 주를 이룰 것으로 예측된다.

가. 에스컬레이터 방식

계단식 승강기인 에스컬레이터(Escalator)는 컨베이어(Conveyor)의 일종으로 경사가 심한지역을 대상으로 동력에 의해 회전하는 계단을 구동시켜 사람을 연속적으로 승강시키는 장치로써, PRT의 급경사 이동에 적용시 연속적인 탑승이 가능함에 따라 차량간 시격(Headway)의 보장 측면에서 다른 수직이동 기술에 비해 장점을 지닌다.



<그림 3.5.97> PRT 에스컬레이터 개념 구상도

PRT 에스컬레이터는 일반 승객용 에스컬레이터와 동작원리는 유사하나, 규모 및 탑승부의 진입/진출부 구조가 상이하다. PRT 차량은 PRT 에스컬레이터의 경사가 진 진입부에 감속하여 진입하고 센서장치가 차량의 탑승판 진입 동기를 맞추어 차량이 탑승판의 중간에 걸치지 않도록 제어한다. 에스컬레이터의 탑승판에 PRT 차량의 적재가 확인되고 나면 차량의 후진에 따른 이탈을 방지하기 위하여 안전바(Stopper)가 돌출하여 차량을 탑승판에 고정시킨다. 이후 차량이 경사부의 최종목적지점에 도달하였을 때 차량은 탑승판에서 하차하여 주행노선으로 진입한다.

이와 같은 PRT 에스컬레이터는 기술적으로 탑승판이 1.5톤 정도의 부하를 견딜 수 있는 강도의 구조물로 구현되어야 한다는 점과 에스컬레이터의 양쪽 끝 부분에서 차량의 길이보다 긴 탑승판이 회전할 수 있는 공간이 필요하다는 문제점을 지니고 있다.

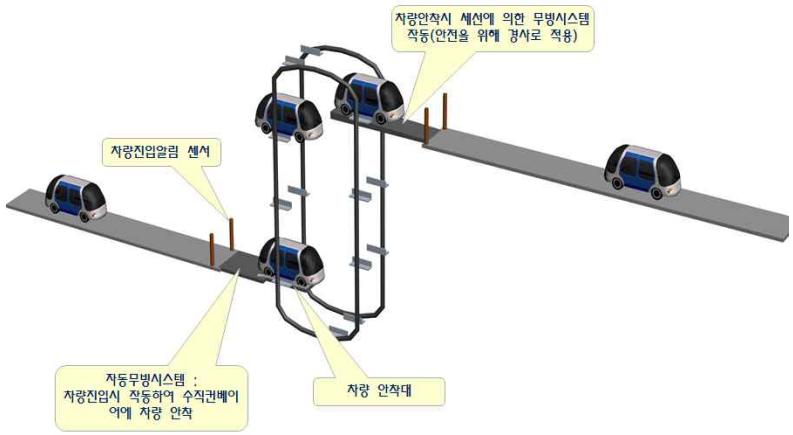
나. 엘리베이터 방식

수직이동을 위해 가장 보편화된 기술인 엘리베이터는 일반적으로 운반물이 실리는 케이지(cage) 또는 카(car) 부분과 권양기, 안내궤도, 와이어로프 및 부하를 경감시키기 위하여 케이지의 무게를 보상하기 위하여 상대적으로 매달려 움직이는 카운터웨이트로 구성된다. 그러나, 이와 같은 일반적인 엘리베이터의 구조로는 하나의 케이지밖에 설치하지 못하므로 이송중인 엘리베이터에는 한 대의 차량만이 탑승 가능하다. 따라서, 엘리베이터의 단일 상하동작 주기동안에 한 대의 차량만을 처리하므로, 엘리베이터 동작주기보다 짧은 시격으로 연속적으로 진입하는 차량을 처리하기에는 한계가 있다.

본 연구에서는 이와 같은 엘리베이터 동작주기보다 더 짧은 시간에 진입하는 연속적인 PRT 차량을 보다 신속하게 처리하기 위하여 단일 엘리베이터 구조물에 다수의 차량을 탑승시킬 수 있는 방안을 제안한다.

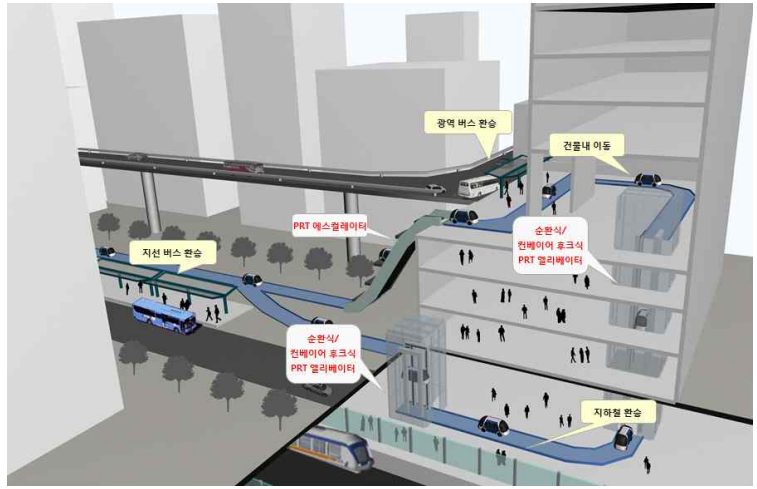
PRT 엘리베이터에 진입부 및 진출부 인터페이스되는 선로 부분에는 엘리베이터에 설치된 차량 안착대의 동작과 동기를 맞추기 위한 차량진입검출 센서와 자동무빙시스템을 설치하여 차량이 안전하게 차량 안착대에 탑승할 수 있도록 제어한다. 차량 안착대는 수직으로 이송하고자 하는 차량이 진입하면 수직으로 이송하는 방향으로 회전하여 차체에 돌출되어 설치된 부위를 들어 올려 수직으로 이송한다. 상층부에 도달한 차량은 무빙시스템에 위로부터 아래로 놓이는 동시에 무빙시스템이 작동하여 엘리베이터를 진출한 후 주행노선으로 진입한다.

이와 같은 방식의 PRT 엘리베이터를 구현하기 위해서는 다수의 PRT 차량을 수직으로 들어 올릴 수 있는 고출력의 전동기가 필요하며, 차량의 안착대를 수평으로 유지시킬 수 있는 방안이 필요하다. 더불어 PRT 차량이 PRT 엘리베이터 진입시 회전하고 있는 차량안착대와 충돌하지 않도록 진입부 무빙시스템을 제어하여야 하며, PRT 엘리베이터가 상부에 도착하여 차량을 하차시킬 때, 다음 차량을 이송중인 차량안착대와 충돌이 일어나지 않도록 진출부 무빙시스템을 제어하여야 한다.

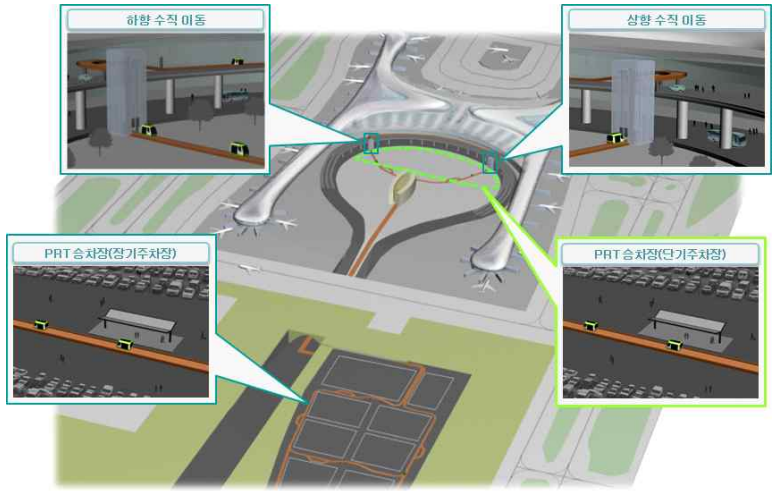


<그림 3.5.98> PRT 엘리베이터 개념 구상도

다수의 교통모드가 수직으로 구성되고, 수평으로 이격된 거리가 짧은 복합환승센터에 대하여 PRT 에스컬레이터 및 엘리베이터 기술을 적용할 수 있는 사례를 그림 3.5.99에 나타내었으며, 공항터미널과 주차장간의 적용사례를 그림 3.5.100에 나타내었다.



<그림 3.5.99> PRT 엘리베이터 적용사례-1(복합환승센터)



<그림 3.5.100> PRT 엘리베이터 적용사례-2(공항터미널과 주차장간 연계)

8. 정책적 지원의 타당성

현재까지 국내 민간기업에 의해 추진되어온 PRT 기술개발은 단순 차량의 개념 구현에 머무르고 있으며, 영국 히드로 공항의 ULTra 시스템의 경우도 단순 왕복 운행형태로, PRT의 근간 서비스인 무정차, 논스톱, On-demand 서비스를 구현하기 위해서는 차량제어 및 상위 네트워크 운행제어 핵심기술의 확보가 필요하다.

현재 선진국들은 21세기 성장전략산업으로 철도분야를 설정하고 차세대 기술을 선점하기 위해 국가적인 지원과 개발이 진행되고 있으며, 핵심기술에 기반을 세우는데 전력중이다. 최초의 상용 PRT 시스템으로 주목받고 있는 영국 히드로 공항의 ULTra 시스템이 시범운영중이며, 이를 기화점으로 아랍에미레이트연방의 두바이, 마스다 등과 영국의 카비, 네덜란드의 알메로, 스웨덴의 웁살라 등의 세계 여러 국가에서 PRT의 도입을 본격적으로 검토하고 있다.

국내산업계에서는 기술개발을 위한 투자 의지와 사업 환경이 조성되어 있는 반면, 기술개발의 구체적인 방향 지표 제시가 미흡한 상태이므로 국가연구개발의 선도연구를 통해 Global Standard 창출과 더불어, 국내 관련 기업의 PRT의 해외 시장진출을 지원이 필요하다. 국내외적으로 PRT 시스템 개발과 관련하여 운행제어 시스템에 대한 다양한 개념이 도출되어 시험되는 단계에 있지만 최적화된 모델 또한 아직 발표되지 않음으로 인해 정부의 정책적인 지원이 필요하다.

가. 상위 관련법 검토

■ '국가통합교통체계효율화법'(국토해양부)

- 국내에서 최초로 개발한 교통기술 또는 외국에서 도입하여 소화·개량한 기술이 국내에서 신규성·진보성 등이 있다고 판단되고 그 기술을 국가교통체계에 보급·활용할 필요가 있다고 인정되는 경우로서 그 기술을 개발한 자(이하 "기술개발자"라 한다)가 요청하는 경우에는 그 기술을 새로운 교통기술(이하 "교통신기술"이라 한다)로 지정할 수 있음.
- 국토해양부장관은 지정된 교통신기술의 실용화 등에 필요한 재정적·행정적 지원을 할 수 있음.

■ 녹색성장위원회(대통령직속)

- 녹색성장 국가전략의 시행계획으로 녹색성장 5개년 5개년 계획을 수립에 따라 녹색교통물류 성장잠재력 확충으로 PRT 등 신교통시스템에 대한 R&D 투자 확대
- 개발성과를 가시화하고 상업적 운영을 지원하기 위해 시범사업을 선정하고 재정·행정지원
- 해외 수출 지원을 위해 산·학·연 정부지원단 구성·운영
- 신교통시스템의 개발·운영을 위해 제도적으로 뒷받침하기 위해 "신교통시스템 개발·운영법"을 제정
- 신교통시스템의 범위, 시범사업, 운영사업자 인·면허, 안전 등 관련규정 명문화

■ 교통약자의 이동편의 증진에 관한 법률(국토해양부)

- 교통약자가 안전하고 편리하게 이동할 수 있도록 교통수단·여객시설 및 도로에 이동편의시설을 확충하고 보행환경을 개선하여 인간중심의 교통체계를 구축함으로써 이들의 사회참여와 복지증진에 이바지함을 목적으로 함.
- 이 법에 의하면 국토해양부장관은 교통약자의 이동편의 증진을 위한 5년 단위의 계획을 수립하여야 하며 이동편의시설의 설치 및 관리 실태, 저상버스 도입 등이 포함되어 있음.
- 연구·개발의 촉진으로 국토해양부장관은 교통약자의 이동편의증진을 위하여 교통약자의 이동편의를 위한 교통수단·여객시설 및 이동편의시설의 기준에 관한 사항, 특별교통수단으로 이용할 수 있는 차량의 개발 등에 대한 연구개발 사업을 추진하여야 함.

■ 대중교통 육성 및 이용 촉진에 관한 법률(국토해양부)

- 이 법은 대중교통을 체계적으로 육성·지원하고 국민의 대중교통수단 이용을 촉진하기 위하여 필요한 사항을 규정함으로써 국민의 교통편의와 교통체계의 효율성을 증진함을 목적으로 함.
- 국가 및 지방자치단체는 모든 국민이 편리하고 안전하게 대중교통을 이용할 수 있도록 대중교통서비스 향상을 위한 다양하고 새로운 교통수단의 보급과 시설·장비의 확충 및 지원의 강화, 광역적인 대중교통서비스의 개선 등의 정책을 수립하여야 함.
- 국토해양부장관은 대중교통의 발전을 위하여 대통령령이 정하는 대중교통기술연구·개발사업을 교통체계효율화법 제19조의2의 규정에 의한 국가교통기술개발계획에 반영하여 추진하여야 함.

나. 기타

친환경 교통시스템의 연구개발을 목표로 하고 있으므로 과학기술기본계획에서 추진되고 있는 21세기 핵심기술로 부상한 신재생에너지 등 친환경 기술과도 관련되어 있으며, 기초 원천 연구역량 강화로 핵심기술의 해외의존을 탈피하고자 하는 정부의 의지를 반영하고 있다. 또한, 산학연 협동 연구 형태로 추진되며 해외 우수 인력을 활용할 계획을 세우고 있으므로 창조형 혁신을 주도할 핵심 과학기술인재의 양성·활용과 창의적·도덕적 연구지원 강화를 목표로 하는 방향과도 부응한다.

경제를 우선시했던 정책에서 기술혁신을 통해 에너지 효율을 높이고 대외 경쟁력을 강화시키는 방향으로 선회하고자 하는 방향으로 정부는 “저탄속 녹색성장” 국가 비전(2008.8)을 선포하였다.

9. 기존 과제와의 중복성 및 차별성

가. 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
국토해양부	차세대 첨단 도시철도시스템 기술개발사업	소형궤도열차 시스템엔지니어링 기술개발	8억원	1차년도 수행 후 보류
지식경제부	기본사업(공공연구회)	철도핵심요소기술개발	4억원	2년

국토해양부의 차세대 첨단 도시철도시스템 기술개발사업은 소형궤도열차 시스템엔지니어링 기술개발과제로서 중요핵심기술의 개발보다는 시스템 엔지니어링 관점에서 전체 시스템의 개발에 초점이 맞추어져 있었으며, 지식경제부의 “철도핵심요소기술개발”과제 중 소형궤도차량 운행제어의 개념설계에 관한 단위주제로 수행하였다(하부 시스템레벨의 차량 운행제어와 관련한 개념설계를 실험실 레벨에서 구현).

나. 연구개발과제의 차별화 방안

전문가 자문 등을 통하여 중복성이 있는 부분은 사전에 제거함으로써 기존의 과제와 차별화하여, 기 수행된 유사과제들의 성과품은 적극 활용함으로써 연구예산의 절감을 유도하여 과제를 추진하도록 하여야 한다.

사업명	과제명	차별화 방안 → 결과물 적극 활용
차세대 첨단 도시철도시스템 기술개발사업	소형궤도열차 시스템엔지니어링 기술개발	- 시스템 엔지니어링 차원에서 도출된 차량 및 인프라 특성을 네트워크 운영제어 알고리즘의 요소 파라미터로 활용 - 환경 변화에 따라 시스템 개념 정의와 기술개발 전략에 활용
기본사업 (공공연구회)	철도핵심요소기술개발	- 차량 단위의 개별 운행제어 특성을 네트워크 운영제어 알고리즘의 요소 파라미터로 활용

제4장 2단계 연구개발 기획

제1절 최종목표 및 내용

1. 최종목표

○ 환경 변화에 대응하기 위한 '지속가능한 교통수단'으로서, 승객 주문(On-demand) 노선 및 무정차 서비스가 가능한 네트워크형 무인대중교통수단인 PRT 시스템의 개발을 통해, 편리성, 경제성, 친환경성, 에너지 효율성의 요구를 충족하는 신교통 기술 선도, 기술선진화 및 수출동력으로써의 철도시스템 기술 확보가 본 과제의 목표임

- 세부연구별 개발 목표

1) PRT 차량 핵심기술 개발

2) PRT 운행제어 핵심기술 개발

3) PRT 선로구축물 기술개발

4) PRT 전력공급 핵심기술 개발

○ 개발 목표 사양(안)

1) 차량시스템

항목		개발 목표사양(안)
하중조건	최 대 승객하중	1.0 ton
	공차중량	1.0 ton
	만차중량	2.0 ton
	최대축중	1.0 ton
노선조건	최급구배	10~20%
	최소 곡선반경	6m
차량크기	차량크기	3.8 × 2.0 × 1.8 [m]
	축간거리	2.59 [m]
	윤간거리	1 [m]
운행조건	운전시격	10초이하
	제어방식	비동기제어방식(일부구간 동기제어방식)
	운행모드	요구모드
운행조건	차량운행	1량 운행을 기본으로 고장시 구원 운전가능
	승객정원	4~6명
차량성능사양	성능(설계) 최고속도	70 km/h
	운행 최고속도	60 km/h
	표정속도	30 km/h이상
	가 속 도	2.5~3.0 m/s^2
	감 속 도	상용 : 2.5~3.0 m/s^2 비상 : 3.0 m/s^2 이상
차량주요사양	주행방식	고무타이어 또는 합성수지 차륜 (폴리우레탄 포함)
	차체재질	섬유보강수지(Fiberglass Reinforced Plastic)
	추진방식	영구자석 동기전동기
	제동방식	회생제동 병용 유압제동
	안내방식	레이저 또는 마그네틱 안내

2) 운행제어 시스템

항목		개발 목표사양(안)
네트워크 운행제어 주요사양	차 량 제어방식	중앙제어시스템에 의한 집중제어
	병 합 점 제어방식	동기식
	차량제어 통신방식	무선통신방식
	차량속도 및 위치검지	· 차량 속도계에 의한 속도측정 · 선로의 절대 위치점을 이용한 위치정보 보정방식

3) 선로구축물 시스템

항목		개발 목표사양(안)
선로구축물 주요사양	궤도 지지방식	과좌식(Straddle type)
	궤도개방	차단형
	구조물	강구조물(부분적으로 콘크리트 병용)
	정거장	강구조물(부분적으로 콘크리트 병용)

4) 전력공급시스템

항목		개발 목표사양(안)
급전사양	급전방식	접촉식(배터리) 또는 비접촉식(유도급전, 배터리)
	가선 공칭전압	AC 380 V

○ PRT의 세부기술

대분류	중분류	소분류	세부기술
승객여정선택형 대중교통수단 (PRT)기술개발	시스템 엔지니어링	종합시스템 구현 · 개발	▪ 시스템 통합기술 ▪ 시스템인터페이스기술
		시험선/시험평가	▪ 시험평가기술 ▪ 신뢰성/안전성기술
		정책기반 구축	▪ 수요창출 및 활용기반기술 ▪ 기술 기준 제정(안)
	PRT 차량 기술	차량시스템 사양 개발	▪ 차량시스템 사양서 선정 ▪ 차량시스템 시험 평가항목 및 기준 선정
		경량 안전 차체 설계 기술	▪ 경량 차체 구조물 및 핵심 서브 시스템 설계 기술 ▪ 차량 일체형 구조 설계 기술 ▪ 초경량 소재 활용 기술
		차량시스템 해석기술	▪ 시스템성능 해석 및 강도, 내구성 평가 기술 ▪ 주행안정성 해석 기술 ▪ 승차감 해석 기술
	PRT 운행제어 기술	주행제어 기술	▪ 최적경로탐색기술 ▪ 공차최적배치기술 ▪ 사고차량관리기술
		분기/병합 제어기술	▪ 분기제어기술 ▪ 병합제어기술
		최적경로 운행제어기술	▪ 차량위치추적기술 ▪ 차량속도측정기술 ▪ 차량속도제어기술 ▪ 차량간격제어기술 ▪ 차량/지상 정보전송기술 ▪ 차량/지상간 정보전송 기술
		운행 및 안전기술	▪ 운행시나리오 생성 및 제어기술 ▪ 위험원/회피제어기술

대분류	중분류	소분류	세부기술
승객여정선택형 대중교통수단 (PRT)기술개발	PRT 선로구축물 기술	친환경, 고강도 궤도시스템 기술	▪ 저소음, 고강도의 궤도 구조(구성요소, 시스템) 설계 기술 ▪ 저소음, 고강도 주행로 기술 ▪ 궤도 제작 및 시공 기술
		저심도구조물 기술	▪ 저심도 구조물 구조 설계 기술 ▪ 저심도 구조물 제작/시공 기술
		고강도, 경량 고가구조물 기술	▪ 고가구조물 구조 설계 기술 ▪ 고가구조물 제작/시공 기술
		정거장 및 차량검수기지 기술	▪ 정거장 구조 설계 기술 ▪ 정거장 시공 기술 ▪ 정거장 시설 최적 설계 기술 ▪ 차량검수기지구조 설계 기술 ▪ 차량검수기지 시공 기술
		선로구축물 유지관리기준 연구	▪ PRT 구조물 유지관리기준 작성
		선로구축물 건설기준 연구	▪ PRT 구조물 건설기준 작성
		선로구축물 시험 기술	▪ 평가항목 및 평가기준 개발 ▪ 시험평가 절차서 작성
	PRT 전력공급 기술	유도 급전을 위한 인버터 및 지상용 전류 루프 기술	▪ 고주파 전류형 인버터 제어 기술 ▪ 저 임피던스 전류 루프 설계 기술
		차량용 유도 집전시스템 기술	▪ 집전장치(pick up coil 및 컨버터) 설계/제작 기술 ▪ 집전용 컨버터 설계
		하이브리드배터리 시스템 기술	▪ 하이브리드 시스템 설계/제작 기술 ▪ 하이브리드 배터리 시스템 충방전 제어기술
		PRT 에너지 사용 분석을 위한 운행 제어 시뮬레이션 기술	▪ 유도 급전시스템 모의 기술 ▪ 하이브리드 배터리 시스템 충방전 모의 기술 ▪ 차량 에너지 소모 모의 기술 ▪ 차량 운행제어 모의 기술
		전력공급시스템 성능 시험 기술	▪ 유도 급전시스템 성능 시험 기술 ▪ 하이브리드 배터리 시스템 성능시험 기술 ▪ 유도 급전시스템 및 하이브리드 배터리 시스템 조합 성능 시험 기술
		전력공급시스템 설계, 설치 및 성능 시험 기술	▪ 유도 급전 시스템 설계 /제작/설치 기술 ▪ 하이브리드 배터리 시스템 설계/제작/설치 기술

2. 기술개발 내용

1) PRT 차량 핵심기술 개발

○ 차량 디자인
○ 차량 성능해석
○ 차량 시스템 엔지니어링 및 설계
○ 차량 단품 제작
○ 차체 프레임 제작
○ 차량 조립용 JIG 제작
○ 차량 조립 및 제작
○ 차량 종합성능시험기준 작성
○ 차량 운영시나리오 작성
○ 차량 시스템 시험평가 및 검증
○ 통합시험

2) PRT 운행제어 핵심기술 개발

○ 차량주행 자동안내 검지장치 제작
○ 네트워크 운행 알고리즘 구현 및 제어기술 개발
○ 네트워크 운행 안전 기술 및 확장제어기술 개발
○ 차량 자동주행제어시스템 인터페이스 개발
○ 차량 자동주행 제어시스템 개발
○ 제어 통신시스템 인터페이스 개발
○ 제어 통신시스템 차량 및 시험선 설치
○ 제어 통신시스템 시험선 시험
○ 종합 성능시험 및 신뢰성 평가
○ 시험선로 차량 운행시험 및 보완

3) PRT 선로구축물 기술개발

○ 선로구축물 목표 사양(안) 도출
○ 시험선 기본설계
○ 시험선 상세설계 및 구축
○ 선로구축물 시험항목 도출 및 현장계측 계획 수립
○ 현장측정 및 분석을 통한 선로구축물 성능평가
○ 선로/정거장 건설기준(안) 작성
○ 선로구축물 안정화 기술개발

○ 선로구축물 유지관리기술 개발
○ 수직이동 방안 및 인터페이스 사항 도출 관리
○ 수직이동 장치 사양 작성 및 제작
○ 수직이동장치 설계 보완 및 시스템 통합 검증

4) PRT 전력공급 핵심기술 개발

○ 하이브리드 배터리 시스템 기본 요구사항 도출
○ 하이브리드 배터리 시스템 인테그레이션 및 시험
○ 무선 급전시스템 기본설계
○ 무선 급전시스템 제작
○ 무선 급전시스템 시험선 설치
○ 급전 시뮬레이터 개발
○ 하이브리드 배터리 시스템 시뮬레이터 개발
○ PRT 전력 소모 분석
○ 급전 및 에너지 시스템 시뮬레이션
○ 종합 시험평가 시행 및 지원, 각종 기준 작성

제2절 세부연구 및 주요 기술개발 내용

1. 목표에 부합되는 세부연구 도출

- **세부연구1 : PRT 차량 핵심기술 개발**
- **세부연구2 : PRT 운행제어 핵심기술 개발**
- **세부연구3 : PRT 선로구축물 기술개발**
- **세부연구4 : PRT 전력공급 핵심기술 개발**

2. 개발목표

세부연구	기술개발목표
PRT 차량 핵심기술 개발	■ 차량 기본설계 및 성능해석 ■ 차량 단품 제작 ■ 차량 조립 및 종합성능시험기준 작성 ■ 차량 통합시험
PRT 운행제어 핵심기술 개발	■ 운행제어 인터페이스 설계 및 요소기술 개발 ■ 운행제어 요소기술 개발 ■ 운행제어 확장기술 개발 및 시험선 설치 ■ 운행제어 시스템 종합 성능시험
PRT 선로구축물 기술개발	■ 선로구축물 목표사양 도출 및 시험선 설계 ■ 선로구축물 시험선 구축 ■ 선로구축물 성능평가 ■ 선로구축물 안정화 및 유지관리기술 개발
PRT 전력공급 핵심기술 개발	■ 하이브리드 급전시스템 요구사항 도출 및 기본설계 ■ 하이브리드 급전시스템 제작 ■ 하이브리드 급전시스템 시험선 설치 ■ 하이브리드 급전시스템 시험

3. 세부연구별 기술개발 목표

가. 세부연구1 : PRT 차량 핵심기술 개발

(1) 기술개발 목표

○ 무인운전에 따른 주행안정성 및 쾌적한 승차감을 제공할 수 있는 소형의 경량 안전 차체로 이루어진 PRT 차량의 개발

(2) 주요연구내용

○ 차량 디자인
○ 차량 성능해석
○ 차량 시스템 엔지니어링 및 설계
○ 차량 단품 제작
○ 차체 프레임 제작
○ 차량 조립용 JIG 제작
○ 차량 조립 및 제작
○ 차량 종합성능시험기준 작성
○ 차량 운영시나리오 작성
○ 차량 시스템 시험평가 및 검증
○ 통합시험

(3) 기술수준

○ 1992년 우보엔지니어링은 교통도시개발연구원을 설립하면서 PRT에 관한 연구를 시작
  - 포항공대에 Skycar 시스템의 개념구현을 위한 테스트 트랙이 제작되었고 단일 노선에서 차량제어 가능성이 증명
○ Vectus는 세계시장 진출을 모색하고 있기 때문에 추운 날씨의 스웨덴에 테스트 트랙을 설치하였으며, 300m길이의 강철 트랙은 오프라인 시스템이며 3대의 차량이 운행됨.
○ 영국 ULTra사는 히드로 공항의 제5터미널과 주차장간에 3개 역사로 구성된 노선에 대하여 시범운영중임
○ 네덜란드 2getthere사는 UAE의 마스다르(UAE)시의 입주자를 대상으로 2개 역사로 구성된 노선에 대하여 10대의 차량을 제작하여 무료로 운행중임.

<표 4.2.1> PRT 차량 기술의 국내외 기술수준

국내 기술 수준	국외 기술 수준
○ 일반철도차량 제작 및 시험평가 경험 풍부하나 시스템 특성상 다른점에 대한 연구 필요 ○ 작은 공간의 기기 배치의 어려움 예상 ○ 차상 분기 메카니즘 및 내구도 평가에 대한 기술 확보 필요 ○ 추진/주행장치에 대한 성능 및 설계 기술 확보 요구	○ 시스템개념으로부터 평가에 이르기까지 전 과정에서 경험 활용가능 ○ 기기배치 및 차상분기/추진/주행장치에 대한 성능 및 설계 평가에 대한 기술 보유 ○ 다만 실제 운영경험이 전무함에 따른 유지보수 등 운영측면에서는 보완 필요

○ PRT 차량의 개발에 필요한 중점 기술은 다음과 같음.

- 차량시스템 사양 개발
- 경량 안전 차체 설계 기술
- 차량시스템 해석기술
- 차량 주행안내 기술

○ PRT 차량을 개발하기 위하여 필요한 요소기술에 있어서 기존 철도관련 기술의 적용 또는 신기술로서 적용할 기술의 분류는 다음과 같음.

<표 4.2.2> PRT 차량 핵심기술 분석

중점기술	요소기술	적용기술	신기술
차량시스템 사양 개발	차량시스템 사양서 선정	○	
	차량시스템 시험 평가항목 및 기준 선정	○	
경량 안전 차체 설계 기술	경량 차체 구조물 및 핵심 서브 시스템 설계	○	
	프레임 굴절 방지 설계 및 차량 충돌 흡수 구조 설계기술	○	
	차량 일체형 구조 설계기술	○	
	초경량 소재 활용기술	○	
차량시스템 해석기술	시스템성능 해석 및 강도, 내구성 평가기술	○	
	주행안정성해석 기술	○	
	승차감해석기술	○	
차량 주행안내 기술	레이져 및 마그네틱 센싱 안내기술	○	

(4) 추진전략 및 추진방법

■ 추진전략

구분	연구목표	연구 추진전략
1차년도	■ 차량 디자인	- 한국형 PRT에 적합한 외형 디자인 - 탑승객의 안전 및 편의성을 높이기 위한 객실 디자인 - 디자인의 평가 방법 구축
	■ 차량성능해석	- 시스템성능 해석 - 강도, 내구성 평가 - 차량 동특성을 고려한 주행안정성 해석 - 차량 궤도와의 상호 작용 등 주행환경에 의한 승차감 해석 - 차량 냉각 유동 해석 - 차량주행 안정을 위한 차량 정면 및 측면 충돌 해석
	■ 차량 시스템 엔지니어링 및 설계	- 차량의 PBS & WBS 작성 - 경량차체 설계 기술 개발 - 플러그인 도어 구조 설계 기술 개발 - 차량 제작사양서 작성 - 차량 상세 설계
2차년도	■ 차량 단품 제작	- 플러그인 도어 설계 및 제작 - 의자 등 각종 의장품 제작 - 추진 및 제동 장치의 세부 사양 선정 및 제작 - 공조장치 세부 사양 선정 및 제작 - 기타장치의 세부 사양 선정 및 제작
	■ 차체 프레임 제작	- 차체 프레임 생산 지그 제작 - 차체 경량 프레임 제작 - 프레임 구조 강도 시험
	■ 차량 조립용 JIG 제작	- 차체 구조물 조립용 터닝지그 제작 - 의장 조립 지그 제작
3차년도	■ 차량 조립 및 제작	- 차체 조립 - 의장 조립 - 차량 구내 시험 및 평가
	■ 차량 종합성능 시험기준 작성	- 완성차 공장구내시험 절차서 작성 - 시운전 시험 절차서 초안 작성 - 성능 시험 및 분석 - 주행안정성을 위한 주요 파라미터 도출 - 운행 시나리오 도출
	■ 차량 운영 시나리오 작성	- 차상 운영관련 각종 지침서 작성 - 차량의 주행 성능 시험 절차서 작성
4차년도	■ 차량 시스템 시험 평가 및 검증	- 구조 강도 시험 및 평가 - 차량 동특성 및 주행안정성 시험 및 평가 - 소음시험 및 평가 - 승차감 시험 및 평가
	■ 통합시험	- 통합시험 및 각종 성능시험 및 안전기준 작성

■ 추진방법

○ 산학연 공동 연구개발 추진

- 도시철도/차량 설계·제작·시공 관련 산업체 기술개발 투자 유도
- 국내 우수 대학교 및 연구소의 신기술 개발 공동연구 추진

○ 수요자·사용자 지향적 기술 개발 추진

- 지자체, 운영기관과의 자문 및 의견수렴



<그림 4.2.1> PRT 차량 핵심기술 개발 세부과제의 TRM

나. 세부연구2 : PRT 운행제어 핵심기술 개발

(1) 기술개발 목표

○ 단위지역의 분산된 통행수요를 흡수하는 새로운 교통네트워크 수단인 PRT의 네트워크 운행제어에 필요한 소프트웨어 및 하드웨어 기술개발 및 검증

(2) 주요연구내용

○ 차량주행 자동안내 검지장치 제작
○ 네트워크 운행 알고리즘 구현 및 제어기술 개발
○ 네트워크 운행 안전 기술 및 확장제어기술 개발
○ 차량 자동주행제어시스템 인터페이스 개발
○ 차량 자동주행 제어시스템 개발
○ 제어 통신시스템 인터페이스 개발
○ 제어 통신시스템 차량 및 시험선 설치
○ 제어 통신시스템 시험선 시험
○ 종합 성능시험 및 신뢰성 평가
○ 시험선로 차량 운행시험 및 보완

(3) 기술수준

○ 국내철도 신호관련 기업의 적극적인 투자 부족과 철도연의 안전성 관리체계 부분의 역량 부족으로 인하여 고유의 열차제어시스템 확보에 어려움을 겪고 있음
○ 국가 연구개발 사업의 경량전철 시스템기술개발사업, 도시철도 표준화사업, 고속철도사업 등의 하위과제로 수행한바 있어 시스템의 핵심 및 시스템 통합에 대한 기술은 확보하였으나 시스템의 신뢰성 및 안정성의 측면에서 보완 연구가 필요
○ 운영시나리오 작성으로부터 운영안전에 이르기까지 운영과 관련한 전주기적으로 방법을 정의하고 위험원을 제거하여야 하는 업무에 대한 지속적인 연구가 필요
○ 네트워크 노선에서의 시스템 제어는 복잡도와 시스템 최적화가 요구됨에 따라 많은 연구가 필요한 분야이며 우리의 수준을 나타내면 단순 루프형태 노선에서 중앙 집중 방식에 따른 분기/병합 개념 구현수준이며, 네트워크 운행제어 기술의 실제 구현은 전무함

<표 4.2.3> PRT 운행제어 기술의 국내외 기술수준

국내 기술 수준	국외 기술 수준
○ 차량보호기술의 차량 위치 추적기술, 차량 속도 측정기술은 기본구현은 가능하나, 차량간격제어 기술은 경험이 없음 ○ 자동운전기술은 차량 속도제어기술은 기술 개발이 필요하며 차상/지상간, 차량/차량간 정보전송기술등 기본적인 기능구현은 가능 ○ RAM 적용기술은 기존 국가 R&D사업과 해외사업에 적용한 경험이 있음 ○ 다만, 새로운 부분은 해 외 업체에 의존해 왔음(요구 조건 설정, 검증 등) ○ 기존시스템의 안전은 경험을 토대로 정의할 수 있으나 네트워크 노선에 대한 운영 안전요구사항 및 시나리오 분석 등 정립 필요	○ 기존 시스템의 차량 보호기술은 구현 및 검증, 적용사례가 다수이나, PRT적용은 초보적인 단계임 ○ 철도시스템 전체 개념 및 프로세스 절차 생성 이르기까지 독자적인 기술 확보 ○ 영국은 기존의 경험으로 DB 구축되어 있어 다양한 접근이 가능함 ○ 기존 시스템의 안전은 경험을 토대로 정의할 수 있으나 네트워크 노선에 대한 운영 안전요구사항 및 시나리오 분석 수행하여 기준 수립

○ PRT 시스템의 운행제어장치의 개발에 필요한 중점 기술은 다음과 같음.

- 위치검지기술 설계/제작/설치/시험 기술
- 속도측정기술 설계/제작/설치/시험 기술
- 주행제어기술 설계/제작/설치/시험 기술
- 간격제어기술 설계/제작/설치/시험 기술
- 분기제어기술 설계/제작/설치/시험 기술
- 병합제어기술 설계/제작/설치/시험 기술
- 차량주행정보 전송시스템 설계/제작/설치/시험 기술
- 차량주행정보 처리시스템 설계/제작/설치/시험 기술
- 운행제어 오류검지 및 모니터링 시스템 설계/제작/설치/시험 기술
- 공차배치 제어기술
- 네트워크 운행제어시스템 설계/제작/설치/시험 기술

○ PRT 시스템의 운행제어장치를 개발하기 위하여 필요한 요소기술에 있어서 기존 철도관련 기술의 적용 또는 신기술로서 적용할 기술의 분류는 다음과 같음.

<표 4.2.4> PRT 운행제어 핵심기술 분석

중점 기술	요소 기술	적용기술	신기술
위치검지기술 설계/제작/설치/시험 기술	고정밀 Local 위치검지 센싱기술	○	
	Global 위치검지 기술	○	
	위치오차 보정 기술	○	
속도측정기술 설계/제작/설치/시험 기술	차상 속도측정기술	○	
	지상 속도측정기술	○	
주행제어기술 설계/제작/설치/시험 기술	추진/제동 제어기술	○	
	전후축 독립 조향제어 기술		○
	정차제어 기술	○	
간격제어기술 설계/제작/설치/시험 기술	차량 추종제어 기술		○
	차량 충돌방지제어 기술		○
분기제어기술 설계/제작/설치/시험 기술	분기부조향제어 기술	○	
	차량분기확인 검지기술	○	
병합제어기술 설계/제작/설치/시험 기술	병합부 속도제어 기술		○
	병합차량 진입제어 기술		○
차량주행정보 전송시스템 설계/제작/설치/시험 기술	차지상 무선통신 인터페이스 기술	○	
	차상통신 기술	○	
차량주행정보 처리시스템 설계/제작/설치/시험 기술	차량주행정보 처리 기술	○	
운행제어 오류검지 및 모니터링 시스템 설계/제작/설치/시험 기술	운행제어 오류검지 기술	○	
	운행 모니터링 기술	○	
공차배치제어기술	공차 분산배치 최적화 기술		○
	차량호출 최적화 기술		○
네트워크 운행제어시스템 설계/제작/설치/시험 기술	최적경로 검색 기술		○
	이상발생구간 우회제어 기술		○
	네트워크노선 최적설계 기술		○

(4) 추진전략 및 추진방법

■ 추진전략

구분	연구목표	연구 추진전략
1차년도	■ 차량주행 자동안내 검지장치 제작	- 무인자동운전을 위한 센서 사양 선정 - 무인자동운전을 위한 센서류 구매
	■ 네트워크 운행 기본 알고리즘 구현 및 요소제어기술 개발	- 다수차량 운행상황의 논스톱 운행 알고리즘 구현 - 차량 기초상태(위치, 속도, 간격) 관련 데이터 처리기술 개발 - 다수차량 운행관제를 위한 검지 및 관제 시뮬레이터 개발
	■ 차량 자동주행제어시스템 인터페이스 개발	- 차량주행/제동제어구조설계및인터페이스개발 - 차량 속도 검지 센서 구조설계 및 인터페이스 개발 - 전후축 조향제어 장치 구조설계 및 인터페이스 개발 - 차상 지장물 검지 센서 구조설계 및 인터페이스 개발
2차년도	■ 단일 네트워크 운행 알고리즘 구현 및 제어기술 개발	- 변동적 차량운행 상황의 논스톱 운행 알고리즘(차량 대수, 행선지 변경) 구현 - 차량 단순이상(원격제어가능) 처리기술 개발 - 다수차량 운행관제를 위한 검지 및 관제 에뮬레이터 개발
	■ 복합 네트워크 운행 알고리즘 구현 및 제어기술 개발	- 복수 차량운행 제어시스템들의 논스톱 운행 알고리즘 구현 - 유휴차량 재배치 기법 및 승하차관련 제반기술 개발 - 차량운행 안전상태 기술(차량의 장치상태 모니터링) 개발
	■ 차량 자동주행 제어시스템 개발	- 분기부 조향 제어 알고리즘 구현 및 분기확인 검지 센서 제작 - 병합부 속도 제어 알고리즘 구현 및 진입 제어장치 제작 - 차량 추종제어 알고리즘 및 차량 충돌방지 센서 제작
	■ 제어 통신시스템 인터페이스 개발	- 차량통신시스템 인터페이스 개발 - 지상통신시스템 인터페이스 개발 - 차량/지상 무선통신 인터페이스 개발

구분	연구목표	연구 추진전략
3차년도	■ 네트워크 운행 안전기술 및 확장제어기술 개발	- (제어시스템) 운행제어 오류 검지 및 (차량) 운행동작 오류 검지 방안 - 비정상 운행상황 대비 승객안전을 위한 특수제어기술(테러 검출, 정전시 탈출구 원격개방 등) - 복수 제어시스템의 fail-over 기능
	■ 제어 통신시스템 차량 및 시험선 설치	- 차량통신시스템 시작차량 설치 - 지상통신시스템 시험선 설치 - 운행제어장치 차량 탑재 및 시험선 설치
4차년도	■ 종합 성능시험 및 신뢰성 평가	- 변동적 차량운행 상황의 논스톱 운행 알고리즘 - 유휴차량 재배치 기법 및 승하차 관련 제반기술 - (제어시스템) 운행제어 오류 검지 및 (차량) 운행동작 오류 검지기술
	■ 제어 통신시스템 시험선 시험	- 제어 통신시스템 시험절차서 작성 - 차량통신시스템 기능 시험 - 지상통신시스템 기능 시험 - 차량/지상 무선통신시스템 기능 시험
	■ 시험선로 차량 운행시험 및 보완	- 차량 추종 간격제어 운행시험 - 차량 병합제어 운행시험

■ 추진방법

○ 승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술개발 연구는 전기, 전자, 통신, 컴퓨터에 기반을 둔 종합기술로서 본과제가 성공적으로 완수되기 위해서는 각 분야의 운영 능력뿐 만이 아니고, 각 분야에 대한 인터페이스 기술은 필수적인 핵심임.

- 성공적인 연구개발 수행을 위해서, 정보기술 및 컴퓨팅 분야 전문가와 긴밀한 정보교류가 요구됨.

○ 본 과제의 기술개발을 위하여 IT 기술개발 사업체, 관련 교통공학 연구진을 확보한 학계 및 연구원을 중심으로 네트워크 운행제어의 고도화 추진

○ 산·학·연의 협동 추진체계 및 외부 전문가 자문위원회 구성을 통해 연구내용의 질적 향상 및 객관성 확보



<그림 4.2.2> PRT 운행제어 핵심기술 개발 세부과제의 TRM

다. 세부연구3 : PRT 선로구축물 기술개발

(1) 기술개발 목표

○ 환경 친화적인고 경제적이며 에너지효율이 우수한 PRT시스템 도입을 위한 선로 구축물의 핵심기술 확보 및 설계·제작·시공 기술을 연구 개발

(2) 주요연구내용

○ 선로구축물 목표 사양(안) 도출
○ 시험선 기본설계
○ 시험선 상세설계 및 구축
○ 선로구축물 시험항목 도출 및 현장계측 계획 수립
○ 현장측정 및 분석을 통한 선로구축물 성능평가
○ 선로/정거장 건설기준(안) 작성
○ 선로구축물 안정화 기술개발
○ 선로구축물 유지관리기술 개발
○ 수직이동 방안 및 인터페이스 사항 도출 관리
○ 수직이동 장치 사양 작성 및 제작
○ 수직이동장치 설계 보완 및 시스템 통합 검증

(3) 기술수준

○ 신도시, 구도심 등 도심지 내에 운영되는 시스템인 관계로, 건설시 도로교통의 지장을 줄이면서 소요되는 전용면적을 최소화하여 공간제약을 극복할 수 있을 뿐만 아니라, 환경 친화적이고 경제적인 PRT 선로 및 정거장 구조물의 설계·제작·시공 기술 개발이 필요함.

<표 4.2.5> PRT 선로구축물 기술의 국내외 기술수준

국내 기술 수준	국외 기술 수준
○ 미관/경관설계 능력 보유 ○ 구조물 설계기준, 유지보수기준 설정 등에 경험이 부족하고 적용지역에 따른 각종 설계기준 적용 차별 정의필요	○ 미관/경관 설계능력 및 경제성을 고려한 시공능력 보유 ○ 운영 경험부족으로 신뢰성 검증 확보 절차 요구

○ PRT 시스템의 선로구축물의 개발에 필요한 중점 기술은 다음과 같음.

- 친환경, 고강도 궤도시스템 설계/제작/시공 기술
- 공장제작·현장조립식, 저심도구조물 설계/제작/시공 기술
- 고강도, 경량의 고가구조물 설계/제작/시공 기술
- 정거장및차량검수기지 설계/제작/시공 기술
- 선로구축물 센서매립형 건전성 자가진단 및 감시기술
- IT 기반 선로구축물 상태정보 자가진단시스템 기술
- 선로구축물 유지관리기준 연구
- 선로, 정거장 등 건설기준 연구
- 선로구축물(궤도, 저심도, 고가) 시험 기술
- 정거장 구조물 시험 기술
- 분기기 구조물 시험 기술

○ PRT 시스템의 선로구축물을 개발하기 위하여 필요한 요소기술에 있어서 기존 철도관련 기술의 적용 또는 신기술로서 적용할 기술의 분류는 다음과 같음.

<표 4.2.6> PRT 선로구축물 핵심기술 분석

중점 기술	요소 기술	적용기술	신기술
친환경, 고강도 궤도시스템 설계/제작/시공 기술	저소음, 고강도의 궤도 구조(구성요소, 시스템) 설계 기술	○	
	저소음, 고강도 주행로 기술	○	
	궤도 제작 및 시공 기술	○	
공장제작 현장조립식, 저심도구조물 설계/제작/시공 기술	저심도 구조물 구조 설계 기술	○	
	저심도 구조물 제작 기술	○	
	저심도 구조물 구조 시공 기술	○	
고강도, 경량의 고가구조물 설계/제작/시공 기술	고가구조물 구조 설계 기술	○	
	고가구조물 제작 기술	○	
	고가구조물 시공 기술	○	
정거장 및 차량검수기지 설계/제작/시공 기술	정거장 구조 설계 기술	○	
	정거장 시공 기술	○	
	정거장 시설 최적 설계 기술	○	
	차량검수기지구조 설계 기술	○	
	차량검수기지 시공 기술	○	
선로구축물 센서매립형 건전성 자가진단 및 감시기술	구조물 건전성 자가 감시시스템 설계 기술	○	
	구조물 건전성 평가기술	○	
IT 기반 선로구축물 상태정보 자가진단시스템 기술	PRT 차량을 이용한 이동식 센싱 기술	○	
	선로구축물 상태정보 전송기술	○	
선로구축물 유지관리기준 연구	PRT 구조물 유지관리기준 작성	○	
선로, 정거장 등 건설기준 연구	PRT 구조물 건설기준 작성	○	
선로구축물 (궤도, 저심도, 고가) 시험 기술	평가항목 및 평가기준 개발	○	
	시험평가 절차서 작성	○	
정거장 구조물 시험 기술	평가항목 및 평가기준 개발	○	
	시험평가 절차서 작성	○	

(4) 추진전략 및 추진방법

■ 추진전략

구분	연구목표	연구 추진전략
1차년도	■ 선로구축물 목표 사양(안) 도출	- 국외 PRT선로구축물 기술동향 조사 분석 - PRT용 선로구축물 기술적 요구사항 분석 - 차량/선로구축물 인터페이스 요구사항 도출 - 궤도/저심도/고가/정거장 구조물 목표 사양 도출
	■ 시험선 기본설계	- 시험선 구축 로드맵 작성 - 시험선 기본설계를 통한 건설 기본계획 수립 - 시험선기본/상세설계
	■ 선로구축물 시험항목 도출 및 현장계측 계획 수립	- 선로구축물별 시험항목 및 평가방법 수립 - 현장계측계획 수립
	■ 수직이동 방안 및 인터페이스 사항 도출 관리	- 수직이동 장치 요구사항 도출 - 수직이동 장치 기본설계
2차년도	■ 시험선 상세설계 및 구축	- 목표사양을 적용한 시험선 상세설계 및 시험선 구축
	■ 수직이동장치 사양작성 및 제작	- 시스템 사양 작성 및 상세설계 - Mock-up 제작 및 성능 평가
3차년도	■ 현장측정 및 분석을 통한 선로구축물 성능평가	- 시험운전시 궤도/저심도/고가 구조물 현장계측 - 계측결과 분석 및 성능평가 - 안전 및 성능 평가기준(안) 작성(해설서 포함)
	■ 수직이동장치 설계 보완 및 시스템 통합 검증	- 사양 및 설계 보완을 통한 최종설계 - 수직이동장치 제작/설치/시운전
4차년도	■ 선로/정거장 건설기준(안) 작성(해설서 포함)	- 선로/정거장 건설기준(안) 해설서 작성 - 선로/정거장 건설기준(안) 작성
	■ 선로구축물 안정화 기술개발	- 현장시험(시험선)을 통한 보완사항 도출 및 개선방안 제시
	■ 선로구축물 유지관리 기술 개발	- 유지관리 자동화시스템 체계구축 및 기준 연구 - 유지관리 자동화시스템 시험 검증
	■ 수직이동장치 시스템 통합 검증	- PRT시스템 제작/설치/시운전

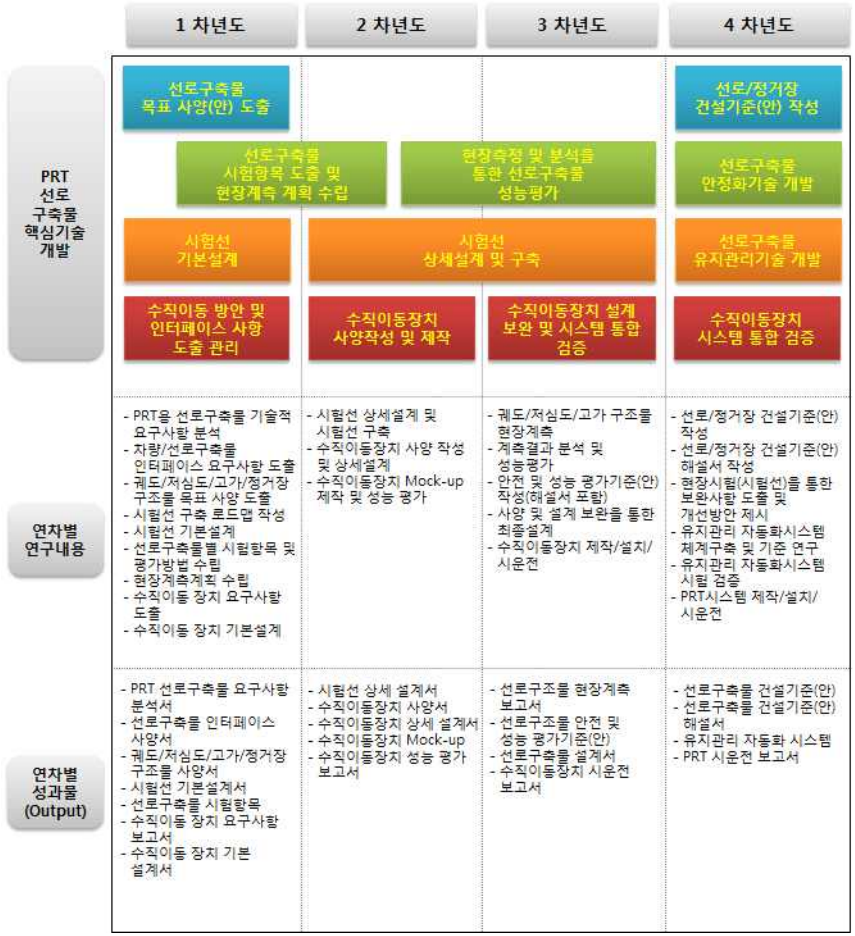
■ 추진방법

○ 산학연 공동 연구개발 추진

- 도시철도 설계·제작·시공 관련 산업체 기술개발 투자 유도
- 국내 우수 대학교 및 연구소의 신기술 개발 공동연구 추진

○ 수요자·사용자 지향적 기술 개발 추진

- 지자체, 운영기관과의 자문 및 의견수렴



<그림 4.2.3> PRT 인프라 기술 개발 세부과제의 TRM

라. 세부연구4 : PRT 전력공급 핵심기술 개발

(1) 기술개발 목표

○ PRT의 차량에 효율적으로 전력을 공급하기 위한 하이브리드 배터리 시스템 개발 및 전력공급시스템 시뮬레이터 개발을 통한 검증

(2) 주요연구내용

○ 하이브리드 배터리 시스템 기본 요구사항 도출
○ 하이브리드 배터리 시스템 인테그레이션 및 시험
○ 무선 급전시스템 기본설계
○ 무선 급전시스템 제작
○ 무선 급전시스템 시험선 설치
○ 급전 시뮬레이터 개발
○ 하이브리드 배터리 시스템 시뮬레이터 개발
○ PRT 전력 소모 분석
○ 급전 및 에너지 시스템 시뮬레이션
○ 종합 시험평가 시행 및 지원, 각종 기준 작성

(3) 기술수준

○ 전력공급시스템은 제3궤조 등 기존 방식을 적용한다면 엔지니어링차원에서 사양 작성, 시험평가 기준수립 등을 수행하면 문제는 없으나, 새로운 급속충전방식을 적용한다면 다각적인 검토가 필요함.

<표 4.2.7> PRT 전력공급 기술의 국내외 기술수준

국내 기술 수준	국외 기술 수준
○ 기존의 제3궤조 방식 등에 대한 경험은 풍부하므로 사양 및 시험평가기준 수립 등 기술력 보유	○ 영국은 기존의 경험으로 DB 구축되어 있어 다양한 접근이 가능함
○ 다만, 새로운 기술의 접목으로 유도급전/급속충전 방식 등은 설계기술 확보 필요	○ 기존시스템의 안전은 경험을 토대로 정의할 수 있으나 유도급전/급속충전에 대한 적용기술에 대한 운영경험이 없음에 따라 신뢰성 확보가 요구됨

○ PRT 시스템의 전력공급장치의 개발에 필요한 중점 기술은 다음과 같음.
- 유도 급전을 위한 인버터 및 지상용 전류 루프 기술
- 차량용 유도 집전시스템 기술
- 하이브리드 배터리 시스템 기술
- PRT 에너지 사용 분석을 위한 운행 제어 시뮬레이션 기술
- 전력공급시스템 성능 시험 기술
- 전력공급시스템 설계, 설치 및 성능 시험 기술

○ PRT 시스템의 전력공급장치를 개발하기 위하여 필요한 요소기술에 있어서 기존 철도관련 기술의 적용 또는 신기술로서 적용할 기술의 분류는 다음과 같음.

<표 4.2.8> PRT 전력공급 핵심기술 분석

중점 기술	요소 기술	적용기술	신기술
유도 급전을 위한 인버터 및 지상용 전류 루프 기술	고주파 전류형 인버터 제어 기술		○
	저 임피던스 전류 루프 설계 기술	○	
차량용 유도 집전시스템 기술	집전장치(pick up coil 및 컨버터) 설계/제작 기술		○
하이브리드배터리 시스템 기술	하이브리드 시스템 설계/제작 기술		○
	하이브리드 배터리 시스템 충방전 제어기술	○	
PRT 에너지 사용 분석을 위한 운행 제어 시뮬레이션 기술	유도 급전시스템 모의 기술	○	
	하이브리드 배터리 시스템 충방전 모의 기술	○	
	차량 에너지 소모 모의 기술	○	
	차량 운행제어 모의 기술	○	
전력공급시스템 성능 시험 기술	유도 급전시스템 성능 시험 기술	○	
	하이브리드 배터리 시스템 성능시험 기술	○	
	유도 급전시스템 및 하이브리드 배터리 시스템 조합 성능 시험 기술	○	
전력공급시스템 설계, 설치 및 성능 시험 기술	유도 급전 시스템 설계 /제작/설치 기술		○
	하이브리드 배터리 시스템 설계/제작/설치 기술	○	

(4) 추진전략 및 추진방법

■ 추진전략

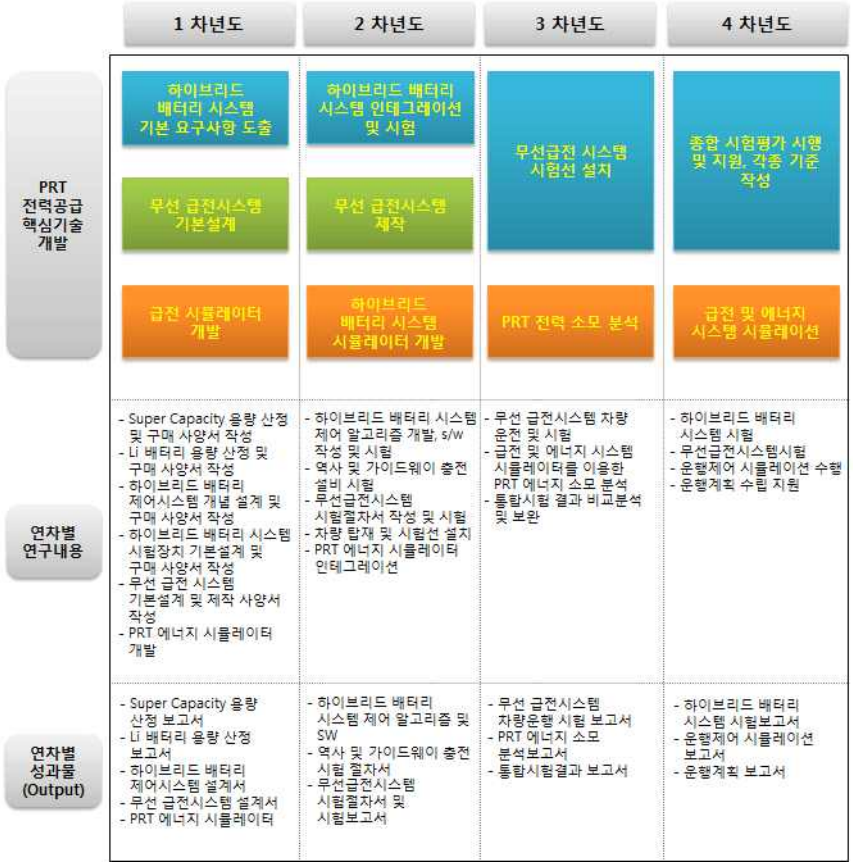
구분	연구목표	연구 추진전략
1차년도	■ 하이브리드 배터리 시스템 기본 요구사항 도출	- SuperCapacity 용량 산정 및 구매 사양서 작성 - Li 배터리 용량 산정 및 구매 사양서 작성 - 하이브리드 배터리 제어시스템 개념 설계 및 구매 사양서 작성 - 하이브리드 배터리 시스템 시험장치 기본설계 및 구매 사양서 작성
	■ 무선 급전시스템 기본설계	- 기본설계 및 제작 사양서 작성
	■ 급전 시뮬레이터 개발	- PRT 에너지 시뮬레이터 개발
2차년도	■ 하이브리드 배터리 시스템 인테그레이션 및 시험	- 하이브리드 배터리 시스템 제어 알고리즘 개발, s/w 작성 및 시험 - 역사 및 가이드웨이 충전설비 시험
	■ 무선급전시스템제작	- 무선급전시스템 시험절차서 작성 및 시험 - 차량 탑재 및 시험선 설치
	■ 하이브리드 배터리 시스템 시뮬레이터 개발	- PRT 에너지 시뮬레이터 인테그레이션
3차년도	■ 무선급전 시스템 시험선 설치	- 무선 급전시스템 차량 운전 및 시험
	■ PRT 전력 소모 분석	- 급전 및 에너지 시스템 시뮬레이터를 이용한 PRT 에너지 소모 분석 - 통합시험 결과 비교분석 및 보완
4차년도	■ 종합 시험평가 시행 및 지원, 각종 기준 작성	- 하이브리드 배터리 시스템 시험 - 무선급전시스템시험
	■ 급전 및 에너지 시스템 시뮬레이션	- 운행제어 시뮬레이션 수행 - 운행계획 수립 지원

■ 추진방법

○ 급속충전방식의 구성 및 성능 해석, 평가 등 일련의 개발 절차는 전문가 집단의 역할 분담으로 신속한 개발체계 수립

- 슈퍼커패시터 등, 적용 핵심 소자의 내구성 확보 방안 마련

○ 산·학·연의 협동 추진체계 및 외부 전문가 자문위원회 구성을 통해 연구내용의 질적 향상 및 객관성 확보

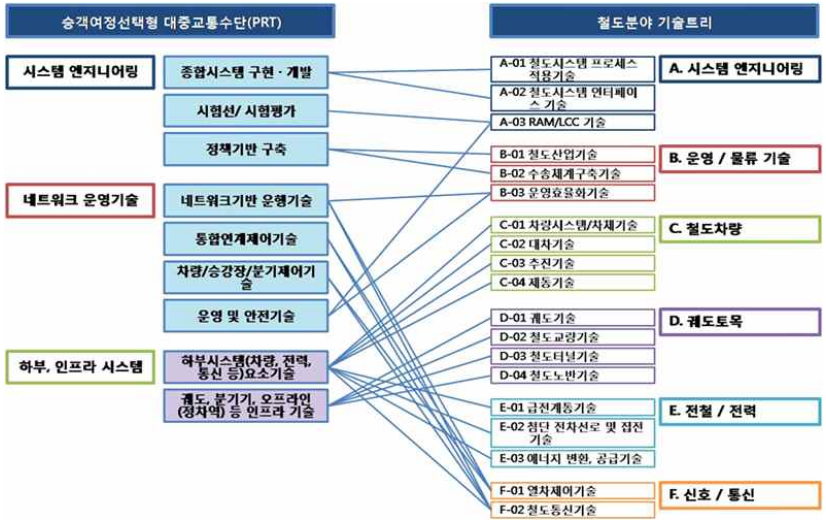


<그림 4.2.4> PRT 전력공급 핵심기술 개발 세부과제의 TRM

4. 기술수준 및 보완사항

가. 기술적 문제 및 분석

○ 기존 철도분야에서 확보된 기술과 승객여정선택형 대중교통수단(PRT) 기술과의 연계성을 살펴보면 다음과 같음.



<그림 4.2.5> 기존 철도기술과 PRT 기술과의 연계성

■ 시스템 엔지니어링 및 종합평가

○ 승객여정선택형 대중교통수단(PRT) 시스템은 시스템엔지니어링 하에 각 하부시스템인 차량, 전력공급, 네트워크 운행제어, 선로구축물, 통신 등으로 구성됨.

○ 영국의 ULTra PRT社는 웨일즈지방의 카디프에서 시험선을 구축하여 수년간 시행착오를 반복하여 시스템을 완성하였음.

- 시스템 사양을 도출하여 그에 부합하는 부품, 장치를 조합하여 시스템을 구성하고 기능구현을 통해 최적화 추진.

○ 네덜란드의 경우는 자동차개념에 자동화를 추구하는 시스템으로 구현 발전시킴.

- 철도시스템에 정형화된 각종 Tool을 적용하여 요구사양 분석 및 관리를 수행하고 있음.
- 시스템의 기능을 구현평가 하기 위한 시험평가체계를 수립하고 시스템 특성에

부합하는 시험평가를 위해 계측시스템을 구축 이용하여 다중의 동작 상태를 확인하여 시스템 보완 및 평가 수행

- 시스템 특성을 고려하여 안전 관련한 위험원 및 시나리오 도출에 따른 분석 및 대응 체계화 작업 수행 중임

○ 국내의 경우, 고속전철사업, 경량전철사업, 철도기술개발사업, 도시철도 표준화사업 등 국가연구 개발 사업을 통하여 시스템 엔지니어링 기술에 대한 상당한 경험과 체계를 보유하고 있음.

○ 그러나 주로 하위 수준의 설계 모델 구축에 집중되어 상위 수준의 시스템 모델이 낙후함. 초기 시스템 요구사항 도출 및 분석, 개념 형성 등의 정형화된 프로세스 및 수행 통제, 관리 기반이 필요하며, 시스템 수명주기에 있어서 관련 기술정보의 체계적 효과적 관리가 필요함.

- 아울러 새로운 대중교통수단을 도입을 위한 적용성 검토, 적용가능지역의 특성분석을 통한 실용화 방향 및 전략 수립 등 정책기반의 구축 필요함.

■ 네트워크 운행제어(S/W 및 H/W) 기술개발 및 검증

○ 미국의 경우 1970년대 Morgan-town GRT시스템이 PRT시스템의 효시로 Offline이 존재하고 초보적인 운영과 Raytheon社에서 근본적인 기술은 확보하고 있으나 복잡한 네트워크는 검증 필요.

○ 영국, 네덜란드는 마그네틱과 레이저의 결합으로 근본적인 기술은 확보하고 있으나 복잡한 네트워크는 검증 필요

○ 스웨덴의 경우는 비행기수화물처리 수단을 기본으로 하여 근본적인 확보하고 있으나 복잡한 네트워크는 검증 필요

○ 국내의 경우, 철도 신호시스템 측면에서 부분적으로 많은 경험과 시행착오를 토대로 시스템 통합과 부분적인 요소기술은 습득한 상태임.

○ 네트워크 운행기술은 차량 운행제어분야와 네트워크 운행제어분야로 나눌 수 있으며 이는 기존의 열차제어 개념을 포함한 것으로 좀 더 세밀하고 복잡하며 병합제어 및 공차, 사고차량 관리 등 새로운 제어기술을 접목하여 통합연계 제어기술로서 핵심 분야로 조속히 개발이 필요함.

○ 각종 운행 시나리오에 설정과 그에 따른 대응 방안을 수립하여야 하고, 그에 따른 운영 및 안전 관련한 기술 개발이 절실한 실정임.

■ 하부시스템(선로, 차량, 전력) 핵심기술 확보 및 시스템 제작, 평가

○ 도심 공간의 활용 극대화, 택시 수준의 편의성, 환경친화성을 가진 미래형 대중교통 시스템에 대한 필요성 제기되고 있고, 양질의 교통 서비스를 제공할 수 있는 새로운 교통수단의 확보로 국민 삶의 질 향상 도모가 필요함.

○ 차량시스템은 경량화, 소음・진동 등 친환경성 추구 및 추진・제동 방식, 차상분기 방식에 대한 성능향상연구가 진행 중

○ 국내의 경우, 하부시스템인 차량의 경우 많은 경험을 가지고는 있으나, 새로운 개념에 따라 수행하여야 하는 차량설계를 비롯하여 각종 성능 해석 및 경량화, 내구도 평가기술, 주행장치, 차상분기에 따른 메커니즘 개발 등에 대한 접근이 필요함.

○ 하부시스템인 전력공급기술의 경우, 제3궤조 기술은 경량전철 등에서 경험이 있으나 에너지 절감 및 미관을 위하여 급속충전방식으로 배터리 및 슈퍼 커패시터 등을 이용한 하이브리드의 경우 적용, 설계, 제작 등의 기술개발이 필요함.

○ 하부시스템인 궤도구조물의 경우 또한 많은 경험을 갖고 있으나 초경량 구조물과 각종 설계기준(설계 및 시공기준, 유지보수, 건설지침 등)에 대한 정립이 필요함.

나. 기술 문제 해결을 위한 대책 및 해외 협력 방안

○ 현재 국내제작기술과 운행경험에 비추어 경량전철의 소형화된 형태에 대한 개발 기술은 있으나, 네트워크 운행제어를 적용한 국내 기술 개발 실적이 선진국에 비해 전무하거나 뒤쳐져 있음. 최근 지구온난화, 친환경, 교통약자편의제공, 에너지효율화를 바탕으로 한 교통수단에 대한 관심이 높아지면서, 유럽을 중심으로 PRT 기술 확보에 주력하고 있음. 최근 국내에서도 지자체를 중심으로 그 관심이 증가하고 있는 현실에 비추어, PRT 개발기술의 확보와 선진화는 빠른 시간 내에 이루어져야 함. 이를 위해 시스템 엔지니어링, 네트워크 운행제어, 급속충전 등의 핵심 요소기술에 초점을 맞추어 기술 개발을 위한 지원이 우선되어야 함. 또한 PRT 운영관리시스템, 제도 및 법령의 확보, 표준화 작업 등과 같은 인프라 기술개발에 대한 투자가 필요함.

○ 특히 기술 문제 해결을 위한 추진은 제품개발(산업계), 요소기술개발(대학), 시스템 엔지니어링 및 인터페이스 기술개발(전문연구소), 상용화를 위한 정책 및 제도마련(정부) 등 각자의 역할에 따라 유기적인 연계체계를 구축하여 수행되어야 함. 이때 철도전문 연구기관, 차량 및 인프라 관련 전문기업, 핵심요소기술 관련 대학 등의 전문인력 참여가 요구됨.

5. 연구개발 성과 (목표)

○ 본 연구과제의 최종성과물 목표는 다음과 같으며, 추후 변경될 수 있다.

<표 4.2.9> 연구개발 성과(목표)

성과지표	세부연구1	세부연구2	세부연구3	세부연구4	합계
학술지 게재 논문건수(국내/국외)	8건	6건	6건	8건	28건
특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	10건	8건	4건	8건	30건
시제품(알고리즘,S/W) 제작 및 개발/현장시험 건수	4건	6건	6건	4건	20건
정책 제안・활용 실적 건수	2건	2건	2건	2건	8건
연구개발 홍보건수	6건	6건	4건	4건	20건

제3절 추진체계 및 전략

1. SWOT 분석

가. 시장/기술의 특징

○ 승객여정선택형 대중교통수단(PRT)은 대규모 교통시설간 연계가 필요한 지역, 지하철 연계를 위한 접근교통수단, 주거지와 쇼핑유발지역 연계 및 대규모 쇼핑유발지역, 중심업무지역으로서 업무지역, 관광지 등 위락시설의 이용자와 위락 시설간 연계가 필요한 지역 등에 확대 적용 가능함.

○ 국내·외의 신교통기술 시장은 정보통신기술과의 융합을 통하여 급속히 성장하고 있으며, 미래의 성장동력으로 세계시장 선점을 위한 경쟁이 날로 치열해 지고 있음.

○ 수도권과 대도시를 중심으로 도로 교통난은 전일화되고 있고, 교통약자에 대한 이동편의 증진이 사회적 이슈로 대두되고 있음. 또한 초고령 사회로 진입하고 있는 우리나라는 승하차 및 접근성, 타 교통수단과의 환승이 편리하면서 경제성을 갖춘 승객여정선택형 대중교통수단(PRT)의 필요성이 커지고 있음.

○ 최근 국내에서 계획되고 있는 신도시 등에서는 경제성(건설비의 저감), 교통약자의 이동편의 증진, 도심환경 친화성 등을 개선시킬 수 있는 시스템이 요구되어지고 있음.

나. 기회/위협 요인

○ 서울을 비롯한 대도시에 인구 집중률이 높은 우리나라의 여건상 도심지 교통난 해소, 건설비 저감, 도심환경 친화성이 강화된 신교통수단이 유력한 대안으로 부상하고 있음.

○ 교통약자에 대한 이동편의를 제공하고자 하는 정부의 강력한 의지와 '대중교통 육성 및 이용촉진에 관한 법률'의 제정으로 자가용 수요를 대체할 수 있는 고품질 대중교통수단에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있음.

○ 지구 온난화 방지와 기후변화협약의 구체적 이행방안으로 온실가스 감축을 목표로 제정된 교토의정서(1997.12) 등 강력한 환경규제로 인하여 무공해 에너지를 동력원으로 하는 대중교통수단의 필요성이 더욱더 증대되고 있음.

○ 승객여정선택형 대중교통수단(PRT)은 철도선진국인 영국, 스웨덴 등을 중심으로 하여 과거 개념 도입 시기(1970년대) 시스템 구현에 있어서 난관이었던 컴퓨팅/제어기술과 관련하여 급속한 발전을 이룬 현재의 IT기술을 접목하여 개발 및 상용화 추진하고 있으나, 국내의 경우 시스템의 이해 및 연구비 부족 등의 이유로 이에 대한 능동적인 대처가 어려운 실정임.

다. 강점/약점 요인

○ 승객여정선택형 대중교통수단(PRT) 기술은 영국, 스웨덴, 네덜란드, 미국 등 기술선진국에 비해 10여년 뒤쳐졌으나, 한국형 고속철도 및 경량전철 개발 경험을 활용한다면 세계적 수준의 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 전망됨. 특히, 철도전문연구기관, 전문기업의 역량을 집중화하여 연구개발에 착수한다면 충분히 경쟁력이 있을 것으로 판단됨.

○ 현재 승객여정선택형 대중교통수단(PRT) 기술개발을 위한 정형화된 프로세스가 부족하며, 기존 열차제어기술을 활용하기에는 병합/분기관련 기술과 관련하여 기술확보가 미흡하고 소규모 운송시스템으로서의 한계를 지니고 있음.

라. 세부기술별 SWOT 분석

○ 차량 핵심기술 확보 및 시스템 제작, 평가

	O(기회)	T(위협)
	• 새로운 무인 전기자동차 개념 설정 및 도입	• 소형에 운영환경 요구사항 접목 어려움
S(강점)	SO전략	ST전략
• 새로운 기술 적용 유리	• 차량의 경량화/소음 저감방안 설계착수시부터 반영 추진	• 안전/편의기능으로 구분하여 적절하게 트레이드오프를 하여 접목 구현방안 마련
W(약점)	WO전략	WT전략
• 소규모 운송시스템으로 인한 한계	• 시스템분류에 따른 적정 수송용량 산정하여 지역 환경에 부합하도록 추진 • 도심 자동차억제 정책과 연계하여 door to door 추진	• 설계, 제작단계시부터 접목 거쳐 제도 기준 수립을 통한 활성화

○ 네트워크 운행제어(S/W 및 H/W) 기술개발 및 검증

	O(기회)	T(위협)
	• 핵심기술 및 원천기술 확보	• 이론적인 기술 • 안전/위험요인 산재
S(강점)	SO전략	ST전략
• IT기술 활용 가능 • 기존열차 제어기술의 접목	• 집약된 융합기술 적용을 통한 제품개발 추진 • 적용지역 모델링후 관련지자체와 협력하에 추진	• S/W 위주의 개발후 H/W개발 • 적용환경지역에 부합하는 운영 안전을 고려한 기술개발
W(약점)	WO전략	WT전략
• 완벽한 기존 열차제어기술 미확보 • 일부 시선은 분기/병합 기술제어기술이 저급기술 취급경향	• 국내 미 확보된 기술을 포함하여 적기에 전문가의 협력하에 기술개발	• 안전/위험인자를 고려하여 S/W로 시스템 가능성 검증 후 H/W기술개발 추진

○ 선로구축물 핵심기술 확보 및 시스템 제작, 평가

	O(기회)	T(위협)
	• 지속가능교통수단으로 인식됨에 따라 친환경성 부각 • 새로운 도심지역 교통수단으로 활용	• 고가구조물 등 미관저해 요인 산재 • 기존도심의 적용의 어려움
S(강점)	SO전략	ST전략
• 기존 철도의 경험	• 구조물 경량화/소음 경감 추구하여 도심 환경에 부합하게 추진	• 적용가능지역별을 기능/목적별로 구분하여 경제성 있도록 구현 방안 마련
W(약점)	WO전략	WT전략
• 구조물에 환경미경험	• 미관 등을 고려한 환경친화성 추구	• 제도 기준 수립을 통한 활성화 • 설계/제작 실용화사업을 통한 연구역량강화

○ 전력공급 핵심기술 확보 및 시스템 제작, 평가

	O(기회)	T(위협)
	• 급속 충전시스템 도입에 따른 활성화	• 적용 기술 최적화의 어려움
S(강점)	SO전략	ST전략
• 새로운 기술 적용 유리	• 차량의 경량화/경제성에 부합 부합하게 추진	• 안전/신뢰성을 감안한 시스템 하이브리드화 추진
W(약점)	WO전략	WT전략
• 경우에 따라 적용 환경 여락	• 적용지역 환경에 부합하도록 세밀한 검토 추진	• 적용지역 환경(환경/기술 등)을 고려하여 명확한 구분하에 제도기준 수립을 통한 활성화

2. 추진체계 및 전략

○ 연구의 규모, 기술개발 기간 및 기술적 필요성 등을 감안할 때, 본 연구는 국가 연구개발과제로 진행하는 것이 효율적이라고 판단됨.

○ 연구 과제는 총 4개의 세부기술 및 4년간의 연차별로 나누어 진행하도록 하며, 각각의 핵심기술 또는 시제품 제작 기술은 3차년도에 완성하며 4차년부터 Test-bed를 이용하여 시험 및 성능평가를 거치도록 함.

- 기초/핵심기술개발 단계: 공통기초 및 핵심기술 개발
- 적용기술개발 단계: Test-bed 적용, 랩 테스트 및 시제품 제작
- 실험 및 신뢰성 확보/검증 단계: 현장 적용 시험 평가 및 보완

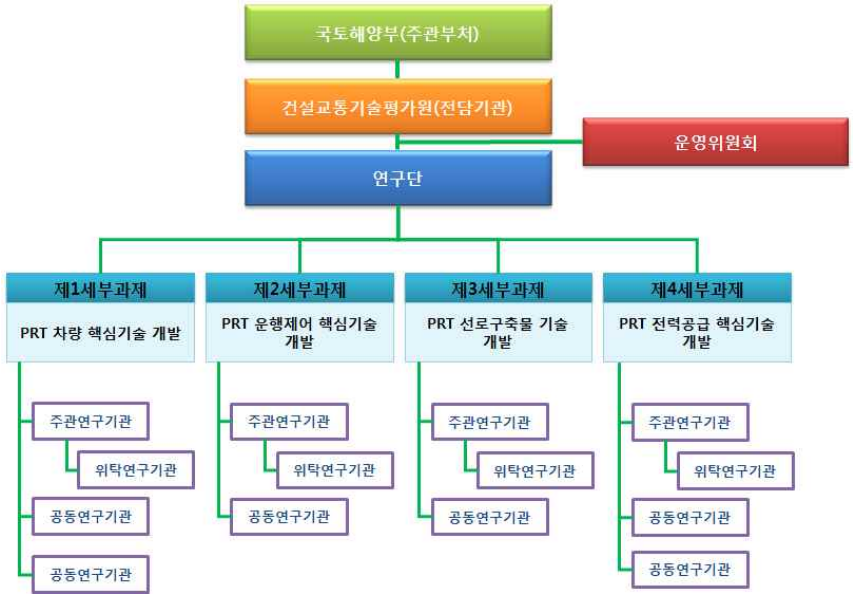
○ 최종 성과물의 개발이 완료되기 전에 각 부분 기술 및 제품의 개발이 중간단계에 완료되면 그 기술 및 제품이 완료된 차년도에 적극적인 Test 및 현장 적용성 평가를 실시할 계획임.

○ 기술개발을 위한 연구개발 전략은 다음과 같음.

- 실험 실증형 연구 추진: 현장 조사, 모의실험프로그램, 시뮬레이터, 실물실험 등 과학적, 공학적 판단 근거 자료의 확보와 이를 바탕으로 한 연구 결과 도출
- 중간 진입 전략 추구: 국외 문헌, 해외 출장, 해외 관계 전문 기관과의 협동연구, 위탁 활용 등을 통한 해외의 개발 경험 및 사례를 참조하여 중간단계에서 기술 개발을 위한 진입전략을 모색함
- 실행 가능성이 있는 기술대안 개발 및 사전 성과 검증: 본 연구개발사업의 국내 수요처(지자체)의 관계자와 정례 회의를 통하여 사전 수요 파악과 적용성 검증 창구 확보를 통한 실용성 높은 기술 대안 개발 추구
- 기존 전동차 설계 및 운영관리 분야 연구기술 개발 노하우, 하이브리드 자동차 관련 연구개발 사례, 하이브리드 추진제어시스템 등의 장비 및 실험시설을 적극적으로 활용하여 연구 수행
- 기초 자료조사 및 이론적 접근 부분은 위탁연구대학교 교수 등 관계 전문가를 통해서 추진하고, 특정 분야에 대한 심도 있는 조사와 자문을 위해 각 분야의 전문가를 적극 활용하여 추진



<그림 4.3.1> 연차별 PRT 기술개발 내용



<그림 4.3.2> PRT 시스템 개발 추진체계

3. 사업화 전략

○ 기존 철도 시스템 대비 저렴한 건설비: 지자체의 취약한 재정자립도의 현실적 문제를 충족시키는 시스템으로 향후 지자체의 수요 흡수

○ 국제적으로 기술개발단계에 있는 PRT를 조기 개발함으로써, 국외 340개가 넘는 도시에서 PRT의 미래 수요 부분 흡수

○ 본 기술의 핵심 개발내용인 친환경성 및 에너지 효율성의 기술력 확보와 홍보를 통한 지속적인 미래 수요 확보

○ 노면선로 및 인프라시스템의 개발은 IT 산업과의 연계 및 긴밀한 협조체계에서 이루어질 수 있으며, 본 과제와 직접적인 관련이 있는 미래형 건설 및 IT 부분 기술개발 업체와 협동연구체계를 구성

○ 세부연구를 통해 개발된 통합 구축시스템, 하이브리드 전력공급시스템, 네트워크 운행제어 시스템은 Test Bed 구축 및 현장평가를 통해 신뢰성을 검증하도록 하여 실용성을 높이고, Test Bed는 연구 성과물 설치 최적의 장소를 조사하여 해당 지자체와의 협의를 통해 구축함으로써 연구의 성과검증과 해당 지자체의 대중교통서비스 질 향상에 이바지할 수 있도록 추진

제4절 소요예산 추정

1. 전체 사업 소요예산

단위 : (백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도	3,360	1,560	4,920
2차년도	6,440	2,990	9,430
3차년도	13,160	6,110	19,270
4차년도	5,040	2,340	7,380
합계	28,000	13,000	41,000

주) 상기 예산은 연차별 중간평가결과와 정부 예산정책에 따라 변경될 수 있음.

- 정부출연금 : 280억원
  · 공정성 및 객관성이 필요한 과제는 민간부담금 없이 정부주도로 추진
  · 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정에 의하여 결정
- 민간부담금 : 130억원
  · 일부 인프라 시스템의 기술개발 민간부담금 포함

2. 세부연구별 소요예산

가. 세부연구1 : PRT 차량 핵심기술 개발

단위 : (백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도	960	480	1,440
2차년도	1,840	920	2,760
3차년도	3,760	1,880	5,640
4차년도	1,440	720	2,160
합계	8,000	4,000	12,000

나. 세부연구2 : PRT 운행제어 핵심기술 개발

단위 : (백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도	720	360	1,080
2차년도	1,380	690	2,070
3차년도	2,820	1,410	4,230
4차년도	1,080	540	1,620
합계	6,000	3,000	9,000

다. 세부연구3 : PRT 선로구축물 기술개발

단위 : (백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도	1,200	480	1,680
2차년도	2,300	920	3,220
3차년도	4,700	1,880	6,580
4차년도	1,800	720	2,520
합계	10,000	4,000	14,000

라. 세부연구4 : PRT 전력공급 핵심기술 개발

단위 : (백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도	480	240	720
2차년도	920	460	1,380
3차년도	1,880	940	2,820
4차년도	720	360	1,080
합계	4,000	2,000	6,000

3. 연차별 연구개발비

가. 1차년도 비목별 총괄

단위 : (백만원)

비목		정부출연금	기업부담금	계	비율(%)
인건비		480	257	737	14.97
직접비	연구장비재료비	1,559	770	2,329	47.36
	연구활동비	407	205	612	12.42
	연구수당	96	51	147	3.00
위탁연구개발비		269	0	269	5.46
간접비		549	277	826	16.79
합계		3,360	1,560	4,920	100

나. 2차년도 비목별 총괄

단위 : (백만원)

비목		정부출연금	기업부담금	계	비율(%)
인건비		940	492	1,432	15.18
직접비	연구장비재료비	3,241	1,476	4,717	50.02
	연구활동비	716	392	1,108	11.75
	연구수당	188	99	287	3.04
위탁연구개발비		257	0	257	2.73
간접비		1,098	531	1,629	17.28
합계		6,440	2,990	9,430	100

다. 3차년도 비목별 총괄

단위 : (백만원)

비목		정부출연금	기업부담금	계	비율(%)
인건비		1,881	1,006	2,887	14.97
직접비	연구장비재료비	6,754	3,017	9,771	50.71
	연구활동비	1,595	801	2,396	12.43
	연구수당	376	201	577	3.00
위탁연구개발비		263	0	263	1.37
간접비		2,291	1,085	3,376	17.52
합계		13,160	6,110	19,270	100

라. 4차년도 비목별 총괄

단위 : (백만원)

비목		정부출연금	기업부담금	계	비율(%)
인건비		730	385	1,115	15.11
직접비	연구장비재료비	2,533	1,155	3,688	49.98
	연구활동비	611	307	918	12.44
	연구수당	146	77	223	3.02
위탁연구개발비		151	0	151	2.05
간접비		869	416	1,285	17.40
합계		5,040	2,340	7,380	100

제5절 기대효과 및 전망

1. 기술적 기대효과

○ 대중교통수단으로서 최초의 Door-to-Door 서비스 기능의 구현을 위한 네트워크 운영 제어 기술의 개발·활용을 통한 신교통 및 기존 교통수단의 운영방식 개선

○ 정보통신 분야에서 국제적으로 선도적 위치에 있는 국내 무선통신기술(WiBro, WCDMA, DMB 등)의 대중교통 정보통신 융합을 통한 통신기술 분야의 새로운 활용처 마련

○ 차체 경량화, 환경 친화적 시스템, 융합적용기술 등의 핵심원천기술 확보 및 타교통수단의 기술 적용에 따른 국가 경쟁력 향상

○ 신기술 적용 및 국산화에 따른 관련 국내기업의 기술력 향상 및 해외시장 진출 지원

2. 사회·경제적 기대효과

○ 국제적으로 '지속가능한 교통수단'으로서 부각되고 있는 PRT의 해외 시장의 국내 관련 기업의 진출 지원

○ 중심상업지역(CBD: Central Business District)의 교통체증 완화 및 전철, 버스 등 대규모 대중교통시스템의 단점 보완

○ 신교통시스템의 적용은 도심지에서의 개인교통 활용도를 낮추어 환경, 에너지, 문화생활 등에 파급효과를 지님

○ PRT시스템은 타 교통수단에 비해 에너지 소비가 현저히 낮으며, 운영 현장에서 CO2 등의 방출이 없는 장점을 지니고 있음

- 자동차 : 1.9mj, 버스 : 1.2mj, 철도 : 1.3mj, PRT : 0.5mj의 에너지 소비로 철도에 비해 2.6배의 에너지 소비 감소효과가 예상됨(mj : MJoule Per Passenger Per Kilometre, 출처 : Frost&Sullivan영국)

○ 미래형 교통수단에 대한 일본, 독일, 미국 등 선진국과 강력한 후발주자인 중국의 기술선점 및 특허장벽에의 극복

○ 교토의정서 발효 등 외부의 환경부하에 능동적으로 대응이 가능

○ 가능성 확인에 따른 특정업체의 독주 제동과 기술적 기준 체계 수립에 의거한 Global Standard를 창출하여 세계 시장 주도

제6절 세부과제별 RFP 및 TRM

1. PRT 차량 핵심기술 개발

연구과제명	PRT 차량 핵심기술 개발
1. 연구개발 목표	
	ㅇ 무인운전에 따른 주행안정성 및 쾌적한 승차감을 제공할 수 있는 소형의 경량 안전 차체로 이루어진 PRT 차량의 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□연구개발의 필요성	ㅇ 최근 대중교통 시스템의 개발 추세는 대량, 고속 수송시스템 개발과 더불어 슬림화된 수요응답형 무인 수송시스템의 개발이 현저히 증가되고 있음. 특히 고성능 센서 및 고기능 제어기술이 빠르게 발달함에 따라 시스템의 무인화가 기본적으로 고려되고 있는 추세임. ㅇ 소형 궤도 운행시스템은 운영의 특성상 원격조정없이 차량의 단독운전을 보장할 수 있는 주행안정성 등의 성능조건이 확보되어야 함. ㅇ 무인 단독 운전을 위한 성능조건으로서 전방 주행환경(전방 주행방향, 장애물)의 신뢰성 있는 인식, 차량의 자기위치 인식 및 운행 맵기반 주행조건 예측, 이의 결과에 따른 Seamless 차량 추진 및 조향 제어, 실시간성 및 Fail Safe가 확보된 차량제어시스템 확보가 선행되어야 함.
□ 기술동향	ㅇ POSCO는 2002년부터 PRT 시스템 연구를 시작하여, 2005년 영국에 VECTUS사를 설립 - 시스템 상세설계를 완료하고 스웨덴 웁살라 소재에 시험선을 운영(총연장 300m, Offline 100m 및 3대의 차량 1개 역사) - 순천만정원박람회에 습지 접근형 추진(초경량전철 개념의 셔틀) ㅇ 영국 ULTra : 히드로 공항 '11. 5월 PRT운행중(터미널-주차장) ㅇ 네덜란드 2getthere : 마스다르(UAE) 입주자 대상 운행

3. 연구개발내용

ㅇ 차량 디자인

ㅇ 차량 성능해석

ㅇ 차량 시스템 엔지니어링 및 설계

ㅇ 차량 단품 제작

ㅇ 차체 프레임 제작

ㅇ 차량 조립용 JIG 제작

ㅇ 차량 조립 및 제작

ㅇ 차량 종합성능시험기준 작성

ㅇ 차량 운영시나리오 작성

ㅇ 차량 시스템 시험평가 및 검증

ㅇ 통합시험

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

구분	연구목표	연구 추진전략
1차년도	■ 차량 디자인	- 한국형 PRT에 적합한 외형 디자인 - 탑승객의 안전 및 편의성을 높이기 위한 객실 디자인 - 디자인의 평가 방법 구축
	■ 차량성능해석	- 시스템성능 해석 - 강도, 내구성 평가 - 차량 동특성을 고려한 주행안정성 해석 - 차량 궤도와의 상호 작용 등 주행환경에 의한 승차감 해석 - 차량 냉각 유동 해석 - 차량주행 안정을 위한 차량 정면 및 측면 충돌 해석
	■ 차량 시스템 엔지니어링 및 설계	- 차량의 PBS & WBS 작성 - 경량차체 설계 기술 개발 - 플러그인 도어 구조 설계 기술 개발 - 차량 제작사양서 작성 - 차량 상세 설계
2차년도	■ 차량 단품 제작	- 플러그인 도어 설계 및 제작 - 의자 등 각종 의장품 제작 - 추진 및 제동 장치의 세부 사양 선정 및 제작 - 공조장치 세부 사양 선정 및 제작 - 기타장치의 세부 사양 선정 및 제작
	■ 차체 프레임 제작	- 차체 프레임 생산 지그 제작 - 차체 경량 프레임 제작 - 프레임 구조 강도 시험
	■ 차량 조립용 JIG 제작	- 차체 구조물 조립용 터닝지그 제작 - 의장 조립 지그 제작

구분	연구목표	연구 추진전략
3차년도	■ 차량 조립 및 제작	- 차체 조립 - 의장 조립 - 차량 구내 시험 및 평가
	■ 차량 종합성능 시험기준 작성	- 완성차 공장구내시험 절차서 작성 - 시운전 시험 절차서 초안 작성 - 성능 시험 및 분석 - 주행안정성을 위한 주요 파라미터 도출 - 운행 시나리오 도출
	■ 차량 운영 시나리오 작성	- 차상 운영관련 각종 지침서 작성 - 차량의 주행 성능 시험 절차서 작성
4차년도	■ 차량 시스템 시험평가 및 검증	- 구조 강도 시험 및 평가 - 차량 동특성 및 주행안정성 시험 및 평가 - 소음시험 및 평가 - 승차감 시험 및 평가
	■ 통합시험	- 통합시험 및 각종 성능시험 및 안전기준 작성

□ 추진체계 ㅇ 산학연 공동 연구개발 추진

- 도시철도 설계·제작·시공 관련 산업체 기술개발 투자 유도
- 국내 우수 대학교 및 연구소의 신기술 개발 공동연구 추진

ㅇ 수요자·사용자 지향적 기술 개발 추진

- 지자체, 운영기관과의 자문 및 의견수렴

5. 최종성과물

□ 주요 최종 성과물

ㅇ 차량 실내외 디자인 도면

ㅇ 차량 개발 목표사양서

ㅇ 차량 상세 인터페이스 사양서

ㅇ 차체 및 주행장치 구조해석 보고서

ㅇ 주행성능 해석보고서

ㅇ 구조체 피로수명/충돌안전도 해석 보고서

ㅇ 차량 동특성 해석 보고서

ㅇ 하부장치 설계서

ㅇ 품질관리 기준서

ㅇ PRT 완성차량(4량)

ㅇ 공장구내시험 절차서

ㅇ 시운전시험 절차서

ㅇ 차량 성능시험 기준서

ㅇ 운행 시나리오

ㅇ 차상운영 지침서

ㅇ 구조 강도시험 평가보고서

ㅇ 차량 동특성 평가보고서

ㅇ 주행안전성 평가보고서

ㅇ 소음시험 평가보고서

ㅇ 승차감시험 평가보고서

ㅇ 안전기준

6. 기대효과 및 파급효과

ㅇ 차체 경량화, 환경 친화적 시스템, 융합적용기술 등의 핵심원천기술 확보 및 타교통수단의 기술 적용에 따른 국가 경쟁력 향상

ㅇ 미래형 교통수단에 대한 일본, 독일, 미국 등 선진국과 강력한 후발주자인 중국의 기술선점 및 특허장벽에의 극복

7. 연구개발기간 및 소요예산

ㅇ 연구기간 : 2012년 ~ 2015년(4년)

ㅇ 지원예산 : 정부 80억 (민간 40억원)

8. 기 타

ㅇ 연구신청자는 RFP에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발계획서를 작성하되, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 연구내용을 충분한 관련근거를 제시하고, 수정하여 제안할 수 있음

ㅇ 선정된 연구진은 전문기관과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

ㅇ 성과목표(지표)별 연차별 정량적·정성적 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용됨

■ 세부과제 1 TRM

	1 차년도	2 차년도	3 차년도	4 차년도
PRT 차량 핵심기술 개발	차량 디자인 차량 성능 해석 차량 시스템 엔지니어링 및 설계	차량 단품 제작 차량 프레임 제작 차량 조립용 JIG 제작	차량 조립 및 제작 차량 종합 성능 시험기준 작성 차량 운영 시나리오 작성	차량 시스템 시험평가 및 검증
연차별 연구내용	- 외형/객실 디자인 - 디자인 공가 방법 구축 - 시스템성능 해석 - 강도, 내구성 평가 - 주행안정성 해석 - 승차감 해석 - 차량 냉각 유동 해석 - 충돌 해석 - 차량 PBS & WBS 작성 - 경량자체 설계 기술 개발 - 도어 구조 설계 기술 개발 - 차량 제작사양서 작성 - 차량 상세 설계	- 도어 설계 및 제작 - 의장품 제작 - 추진/제동 장치 세부 사양 선정 및 제작 - 공조장치 세부 사양 선정 및 제작 - 차체 프레임 생산 지그 제작 - 차체 경량 프레임 제작 - 프레임 구조 강도 시험 - 의장 조립 지그 제작	- 차체 조립 - 의장 조립 - 차량 구내 시험 및 공가 - 공장구내시험 절차서 작성 - 시운전 시험 절차서 작성 - 성능 시험 및 분석 - 주행안정성 파라미터 도출 - 운행 시나리오 도출 - 차상 운영관련 지침서 작성 - 차량 주행 성능 시험 절차서 작성	- 구조 강도 시험 및 공가 - 차량 동특성 공가 - 주행안정성 시험 및 공가 - 소음시험 및 공가 - 승차감 시험 및 공가 - 통합시험 - 성능시험 및 안전기준 작성
연차별 성과물 (Output)	- 차량 실내외 디자인 도면 - 차량 개발 목표사양서 - 차량 상세 인터페이스 사양서 - 차체 및 주행장치 구조해석 보고서 - 주행성능 해석보고서 - 구조체 피로수명/충돌안전도 해석 보고서 - 차량 동특성 해석 보고서	- 하부장치 설계서 - 추진/제동 장치 단품 - 차체 프레임 - 품질관리 기준서	- PRT 완성차량(4량) - 공장구내시험 절차서 - 시운전시험 절차서 - 차량 성능시험 기준서 - 운행 시나리오 - 차상운영 지침서	- 구조 강도시험 평가보고서 - 차량 동특성 평가보고서 - 주행안전성 평가보고서 - 소음시험 평가보고서 - 승차감시험 평가보고서 - 안전기준

2. PRT 운행제어 핵심기술 개발

연구과제명	PRT 운행제어 핵심기술 개발

1. 연구개발 목표

○ 단위지역의 분산된 통행수요를 흡수하는 새로운 교통네트워크 수단인 PRT의 네트워크 운행제어에 필요한 소프트웨어 및 하드웨어 기술개발 및 검증

2. 연구개발 필요성 및 기술동향

□ 연구개발의 필요성

○ 환경 및 적용기술들이 복잡해짐에 따라 시스템 측면에서 운행과 관련한 PRT 운행제어의 핵심원천기술을 확보하고 운행의 신뢰성을 갖출 수 있도록 체계적인 기술 확보가 필요함

○ 최적 경로 검색을 위해서는 실시간으로 네트워크 노선상의 전체 차량의 위치 및 속도 등의 상태 정보가 개별 차량에 전달되어야 하며, 이를 위해 차량/지상간 정보전송 및 차량/차량간 정보전송이 필요함

○ 승객이 승차하지 않은 공차에 대하여 수요가 예상되거나 실시간으로 요청되는 해당 정차역 및 인근에 배치하여 승객이 최소한으로 대기하고 차량을 최대한 활용할 수 있도록 공차를 최적으로 배치하여 승객이 호출하기 전 미리 대기할 수 있는 제어가 필요함

○ 차량의 고장이나 사고가 발생한 경우, 주변 차량의 운행에 지장을 주지 않도록 특수목적의 견인 차량 또는 일반 차량에 의해 사고 차량을 정비고로 유도(견인)하거나, 사고차량이 점유한 루트로 정상차량이 진입하지 못하도록 제어하기 위한 사고차량 관리 제어가 필요함

□ 기술동향

○ 전세계적으로 PRT의 운행제어와 관련하여 초기단계인 단순 루프형태 노선에서 중앙집중방식에 따른 분기/병합 개념 구현수준이며, 복잡한 구조의 네트워크 운행제어 기술의 실제 구현은 전무함

3. 연구개발내용

○ 차량주행 자동안내 검지장치 제작

○ 네트워크 운행 알고리즘 구현 및 제어기술 개발

○ 네트워크 운행 안전 기술 및 확장제어기술 개발

○ 차량 자동주행제어시스템 인터페이스 개발

○ 차량 자동주행 제어시스템 개발

○ 제어 통신시스템 인터페이스 개발

○ 제어 통신시스템 차량 및 시험선 설치

○ 제어 통신시스템 시험선 시험

○ 종합 성능시험 및 신뢰성 평가

○ 시험선로 차량 운행시험 및 보완

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

구분	연구목표	연구 추진전략
1차년도	■ 차량주행 자동안내 검지장치 제작	- 무인자동운전을 위한 센서 사양 선정 - 무인자동운전을 위한 센서류 구매
	■ 네트워크 운행 기본 알고리즘 구현 및 요소제어기술 개발	- 다수차량 운행상황의 논스톱 운행 알고리즘 구현 - 차량 기초상태(위치, 속도, 간격) 관련 데이터 처리기술 개발 - 다수차량 운행관제를 위한 검지 및 관제 시뮬레이터 개발
	■ 차량 자동주행제어 시스템 인터페이스 개발	- 차량주행/제동제어구조설계및인터페이스개발 - 차량 속도 검지 센서 구조설계 및 인터페이스 개발 - 전후축 조향제어 장치 구조설계 및 인터페이스 개발 - 차상 지장물 검지 센서 구조설계 및 인터페이스 개발
2차년도	■ 단일 네트워크 운행 알고리즘 구현 및 제어기술 개발	- 변동적 차량운행 상황의 논스톱 운행 알고리즘(차량 대수, 행선지 변경) 구현 - 차량 단순이상(원격제어가능) 처리기술 개발 - 다수차량 운행관제를 위한 검지 및 관제 에뮬레이터 개발
	■ 복합 네트워크 운행 알고리즘 구현 및 제어기술 개발	- 복수 차량운행 제어시스템들의 논스톱 운행 알고리즘 구현 - 유휴차량 재배치 기법 및 승하차관련 제반기술 개발 - 차량운행 안전상태 기술(차량의 장치상태 모니터링) 개발
	■ 차량 자동주행 제어시스템 개발	- 분기부 조향 제어 알고리즘 구현 및 분기확인 검지센서 제작 - 병합부 속도 제어 알고리즘 구현 및 진입 제어 장치 제작 - 차량 추종제어 알고리즘 및 차량 충돌방지 센서 제작
	■ 제어 통신시스템 인터페이스 개발	- 차량통신시스템 인터페이스 개발 - 지상통신시스템 인터페이스 개발 - 차량/지상 무선통신 인터페이스 개발

구분	연구목표	연구 추진전략
3차년도	■ 네트워크 운행 안전 기술 및 확장제어기술 개발	- (제어시스템) 운행제어 오류 검지 및 (차량) 운행동작 오류 검지 방안 - 비정상 운행상황 대비 승객안전을 위한 특수제어기술(테러 검출, 정전시 탈출구 원격개방 등) - 복수 제어시스템의 fail-over 기능
	■ 제어 통신시스템 차량 및 시험선 설치	- 차량통신시스템 시작차량 설치 - 지상통신시스템 시험선 설치 - 운행제어장치 차량 탑재 및 시험선 설치
4차년도	■ 종합 성능시험 및 신뢰성 평가	- 변동적 차량운행 상황의 논스톱 운행 알고리즘 - 유휴차량 재배치 기법 및 승하차 관련 제반기술 - (제어시스템) 운행제어 오류 검지 및 (차량) 운행동작 오류 검지기술
	■ 제어 통신시스템 시험선 시험	- 제어 통신시스템 시험절차서 작성 - 차량통신시스템 기능 시험 - 지상통신시스템 기능 시험 - 차량/지상 무선통신시스템 기능 시험
	■ 시험선로 차량 운행시험 및 보완	- 차량 추종 간격제어 운행시험 - 차량 병합제어 운행시험

□ 추진체계

○ 승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술개발 연구는 전기, 전자, 통신, 컴퓨터에 기반을 둔 종합기술로서 본과제가 성공적으로 완수되기 위해서는 각 분야의 운영 능력뿐 만이 아니고, 각 분야에 대한 인터페이스 기술은 필수적인 핵심임.

- 성공적인 연구개발 수행을 위해서, 정보기술 및 컴퓨팅 분야 전문가와 긴밀한 정보교류가 요구됨.

○ 본 과제의 기술개발을 위하여 IT 기술개발 사업체, 관련 교통공학 연구진을 확보한 학계 및 연구원을 중심으로 네트워크 운행제어의 고도화 추진

○ 산·학·연의 협동 추진체계 및 외부 전문가 자문위원회 구성을 통해 연구내용의 질적 향상 및 객관성 확보

5. 최종성과물

□ 주요 최종 성과물

○ 주행제어 설계서
○ 속도 검지 센서 설계서
○ 지장물 검지 센서 설계서
○ 동적 운행 알고리즘
○ 분기/병합제어 설계서
○ 분기/병합제어모듈 시작품

○ 주행 제어 모듈
○ 운행 오류 검지 모듈
○ 승객안전 제어 모듈
○ 유휴차량 배치제어 모듈
○ 차량주행정보 처리시스템
○ 차량주행정보 전송시스템
○ 운행제어 모니터링 시스템
○ 주행제어 시험계획서
○ 분기/병합제어 시험계획서
○ 지상무선통신 안테나 배치 설계서
○ 네트워크 운행제어시스템
○ 제어통신시스템 시험절차서
○ 통합 시운전 시험계획서
○ 네트워크 운행제어 시험평가 결과

6. 기대효과 및 파급효과

○ 대중교통수단으로서 최초의 Door-to-Door 서비스 기능의 구현을 위한 네트워크 운행제어 기술의 개발·활용을 통한 신교통 및 기존 교통수단의 운영방식 개선

○ 정보통신 분야에서 국제적으로 선도적 위치에 있는 국내 무선통신기술(WiBro, WCDMA, DMB 등)의 대중교통 정보통신 융합을 통한 통신기술 분야의 새로운 활용처 마련

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 연구기간 : 2012년 ~ 2015년(4년)
○ 지원예산 : 정부 60억 (민간 30억원)

8. 기 타

○ 연구신청자는 RFP에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발계획서를 작성하되, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 연구내용을 충분한 관련근거를 제시하고, 수정하여 제안할 수 있음

○ 선정된 연구진은 전문기관과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정

·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

○ 성과목표(지표)별 연차별 정량적·정성적 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거 자료로 활용됨

■ 세부과제 2 TRM

	1 차년도	2 차년도	3 차년도	4 차년도
PRT 운행제어 핵심기술 개발	네트워크 운행 기본 알고리즘 구현 및 요소제어기술 개발	네트워크 운행 알고리즘 구현 및 제어기술 개발	네트워크 운행 안전 기술 및 확장 제어기술 개발	종합 성능시험 및 신뢰성 평가
	차량 자동주행제어 시스템 인터페이스 개발	차량 자동주행 제어시스템 개발		시험선로 차량 운행 시험 및 보완
		제어 통신시스템 인터페이스 개발	제어 통신시스템 차량 및 시험선 설치	제어 통신시스템 시험선 시험
연차별 연구내용	- 무인자동운전 가이드 센서 사양 선정 및 구매 - 논스톱 운행 알고리즘 구현 - 차량 상태 데이터 처리 기술 개발 - 차량주행/제동 제어 구조 설계 및 인터페이스 개발 - 속도 검지 센서 구조설계 및 인터페이스 개발 - 전후축 조향제어 장치 구조설계 - 차상 지장물 검지 센서 구조설계	- 변동적 운행 상황 논스톱 운행 알고리즘 구현 - 차량 단순이상 처리기술 개발 - 유휴차량 재배치 기법 - 승하차관련 제반기술 개발 - 차량의 장치상태 모니터링 기술 개발 - 분기부 조향 제어 알고리즘 구현 - 분기확인 검지 센서 제작 - 병합부 속도 제어 알고리즘 구현 - 병합 진입 제어 장치 제작 - 추종제어 알고리즘 구현 - 차량 충돌방지 센서 제작 - 차량통신시스템 인터페이스 개발 - 지상통신시스템 인터페이스 개발 - 차량/지상 무선통신 인터페이스 개발	- 운행제어 오류 검지 및 운행동작 오류 검지 방안 - 승객안전 특수제어기술 - 복수 제어시스템의 fail-over 기능 - 차량통신시스템 차량 설치 - 지상통신시스템 설치 - 운행제어장치 차량 탑재 및 시험선 설치	- 제어 통신시스템 시험절차서 작성 - 차량통신시스템 기능 시험 - 지상통신시스템 기능 시험 - 차량/지상 무선통신 시스템 기능 시험 - 차량 추종 간격제어 운행시험 - 차량 병합제어 운행시험
연차별 성과물 (Output)	- 주행제어 설계서 - 기초 운행 알고리즘 - 차량주행정보 처리시스템 - 속도 검지 센서 설계서 - 지장물 검지 센서 설계서	- 동적 운행 알고리즘 - 주행제어모듈 시작품 - 분기/병합제어 설계서 - 분기/병합제어모듈 시작품 - 운행제어 모니터링 시스템 - 유휴차량 배치제어 모듈 - 차량주행정보 전송시스템	- 운행 오류 검지 모듈 - 승객안전 제어 모듈 - 주행제어 시험계획서 - 분기/병합제어 시험계획서 - 지상무선통신 안테나 배치 설계서 - 네트워크 운행제어시스템	- 제어통신시스템 시험절차서 - 통합 시운전 시험계획서 - 네트워크 운행제어 시험평가 결과

3. PRT 선로구축물 기술개발

연구과제명	PRT 선로구축물 기술개발

1. 연구개발 목표

환경 친화적인고 경제적이며 에너지효율이 우수한 PRT시스템 도입을 위한 선로구축물의 핵심기술 확보 및 설계·제작·시공 기술을 연구 개발

2. 연구개발 필요성 및 기술동향

□연구개발의 필요성

- ㅇ 국제적으로 친환경, 고효율의 교통수단 개발에 대한 다국적간 경쟁이 심화되고 있는 가운데, 기존 친환경 교통수단인 철도의 약점으로 지적된 승객의 접근성을 높이고 택시 혹은 자가용 수준의 이용 편의성을 제공하는 승객 여정선택형 교통수단(PRT:Personal Rapid Transit)의 도입을 위한 선로구축물 기술개발이 필요함.
- ㅇ 신도시, 구도심 등 도심지 내에 운영되는 시스템인 관계로, 건설시 도로교통의 지장을 줄이면서 소요되는 전용면적을 최소화하여 공간제약을 극복할 수 있을 뿐만 아니라, 환경 친화적이고 경제적인 PRT 선로 및 정거장 구조물의 설계·제작·시공 기술 개발이 필요함.
- ㅇ 24시간 무인운전으로 운영되는 PRT시스템인 만큼 최고의 안전한 서비스 제공을 위한 실시간 선로구축물 상태정보 자가진단 및 감시·평가가 가능한 IT기반의 선로구축물 유지보수시스템의 기술 개발이 필요함.
- ㅇ 국내 최초로 도입되는 시스템인 관계로, PRT 선로구축물의 설계, 건설, 유지관리를 위한 별도의 기준 마련이 필요함.

□ 기술동향

- ㅇ 국내에서는 포스코 자회사인 Vectus가 2013년에 순천만 PRT시스템을 건설·운영할 계획에 있고, 국외에서는 영국의 ULTra PRT社(舊 ATS)가 히드로공항내 세계 최초로 PRT시스템을 상용 운행 중에 있는 등 도심지, 위락지, 공항 등에서의 주요 거점 연결 교통수단으로 도입되고 있는 추세임.

- ㅇ 최신의 IT기술이 접목된 미래 지향적인 첨단 대중교통시스템의 기술개발이 이루어지고 있는 가운데, 기존의 대량 수송의 대중교통수단에서 소규모, 개인 사생활이 보장된 대중교통수단의 요구가 증대되고 있음.

3. 연구개발내용

- ㅇ 선로구축물 목표 사양(안) 도출
- ㅇ 시험선 기본설계
- ㅇ 시험선 상세설계 및 구축
- ㅇ 선로구축물 시험항목 도출 및 현장계측 계획 수립
- ㅇ 현장측정 및 분석을 통한 선로구축물 성능평가
- ㅇ 선로/정거장 건설기준(안) 작성
- ㅇ 선로구축물 안정화 기술개발
- ㅇ 선로구축물 유지관리기술 개발
- ㅇ 수직이동 방안 및 인터페이스 사항 도출 관리
- ㅇ 수직이동 장치 사양 작성 및 제작
- ㅇ 수직이동장치 설계 보완 및 시스템 통합 검증

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

구분	연구목표	연구 추진전략
1차년도	■ 선로구축물 목표 사양(안) 도출	- 국외 PRT선로구축물 기술동향 조사 분석 - PRT용 선로구축물 기술적 요구사항 분석 - 차량/선로구축물 인터페이스 요구사항 도출 - 궤도/저심도/고가/정거장 구조물 목표 사양 도출
	■ 시험선 기본설계	- 시험선 구축 로드맵 작성 - 시험선 기본설계를 통한 건설 기본계획 수립 - 시험선기본/상세설계
	■ 선로구축물 시험항목 도출 및 현장계측 계획 수립	- 선로구축물별 시험항목 및 평가방법 수립 - 현장계측계획 수립
	■ 수직이동 방안 및 인터페이스 사항 도출 관리	- 수직이동 장치 요구사항 도출 - 수직이동 장치 기본설계
2차년도	■ 시험선 상세설계 및 구축	- 목표사양을 적용한 시험선 상세설계 및 시험선 구축
	■ 수직이동장치 사양작성 및 제작	- 시스템 사양 작성 및 상세설계 - Mock-up 제작 및 성능 평가

구분	연구목표	연구 추진전략
3차년도	■ 현장측정 및 분석을 통한 선로구축물 성능평가	- 시험운전시 궤도/저심도/고가 구조물 현장계측 - 계측결과 분석 및 성능평가 - 안전 및 성능 평가기준(안) 작성(해설서 포함)
	■ 수직이동장치 설계 보완 및 시스템 통합 검증	- 사양 및 설계 보완을 통한 최종설계 - 수직이동장치 제작/설치/시운전
4차년도	■ 선로/정거장 건설기준(안) 작성(해설서 포함)	- 선로/정거장 건설기준(안) 해설서 작성 - 선로/정거장 건설기준(안) 작성
	■ 선로구축물 안정화 기술개발	- 현장시험(시험선)을 통한 보완사항 도출 및 개선방안 제시
	■ 선로구축물 유지관리기술 개발	- 유지관리 자동화시스템 체계구축 및 기준 연구 - 유지관리 자동화시스템 시험 검증
	■ 수직이동장치 시스템 통합 검증	- PRT시스템 제작/설치/시운전

□ 추진체계

○ 산학연 공동 연구개발 추진

- 도시철도 설계·제작·시공 관련 산업체 기술개발 투자 유도
- 국내 우수 대학교 및 연구소의 신기술 개발 공동연구 추진

○ 수요자·사용자 지향적 기술 개발 추진

- 지자체, 운영기관과의 자문 및 의견수렴

5. 최종성과물

□ 주요 최종 성과물

○ PRT 선로구축물 요구사항 분석서
○ 선로구축물 인터페이스 사양서
○ 궤도/저심도/고가/정거장 구조물 사양서
○ 선로구축물 시험항목
○ 선로구조물 현장계측 보고서
○ 선로구조물 안전 및 성능 평가기준(안)
○ 선로구축물 건설기준(안)
○ 시험선 상세 설계서
○ 유지관리 자동화 시스템
○ PRT 시운전 보고서
○ 수직이동장치 요구사항 보고서
○ 수직이동장치 사양서
○ 수직이동장치 상세 설계서
○ 수직이동장치 성능 평가 보고서
○ 수직이동장치 시운전 보고서

6. 기대효과 및 파급효과

○ 친환경, 고효율의 경제적인 PRT 선로구축물 설계·제작·시공 기술 확보 및 기술경쟁력 제고, 해외시장 진출 가능

○ PRT 선로구축물 핵심기술개발에 대학교 및 연구소, 국내 관련 산업체의 참여를 통한 기술 발전 및 전문인력 양성에 기여

○ PRT 선로구축물 건설·유지보수 기준 마련으로 안전성 제고 및 국내 PRT 건설비 및 유지보수비용 절감 기대

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 연구기간 : 2012년 ~ 2015년(4년)

○ 지원예산 : 정부 100억 (민간 40억원)

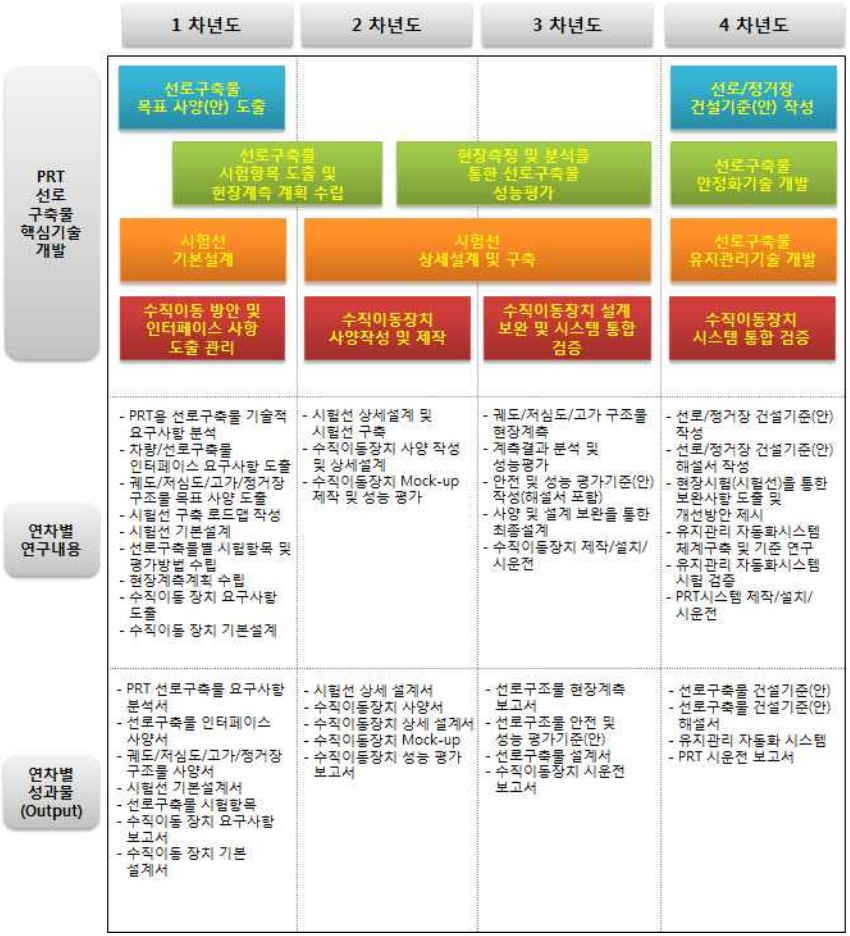
8. 기 타

○ 연구신청자는 RFP에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발계획서를 작성하되, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 연구내용을 충분한 관련근거를 제시하고, 수정하여 제안할 수 있음

○ 선정된 연구진은 전문기관과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

○ 성과목표(지표)별 연차별 정량적·정성적 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용됨

■ 세부과제 3 TRM



4. PRT 전력공급 핵심기술 개발

연구과제명	PRT 전력공급 핵심기술 개발
1. 연구개발 목표	
	ㅇ 급전시스템 개발 ㅇ 하이브리드 배터리 시스템 개발 ㅇ 전력공급시스템 시뮬레이터 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	ㅇ PRT 시스템은 도심이나 환승 센터 등 사람의 이동이 많고 밀집되어 있는 지역이 주 응용 대상 지역임. 따라서 급전시스템이 일반철도의 전차선처럼 외부로 노출되어 설치되면 환경의 미관을 해치고 어떤 경우에는 안전상의 이유로 외부 노출 설치가 불가능한 경우도 있음. 따라서 정거장에 차량이 정차시에만 접촉하여 공급하는 급전방식과 가이드웨이에 매설되어 무선으로 급전하는 방식의 개발이 필요함. ㅇ 개발되는 PRT 차량은 배터리 파워에 의해 구동되며, 배터리는 역사나 주행 중 짧은 구간에서 급속 충전되어야 함. 또한 시스템의 에너지 효율을 높이기 위해서는 PRT 차량의 제동에 따른 회생전력을 신속히 흡수할 수 있어야 함. 하이브리드 배터리 시스템은 Super Capacitor와 Lithium 배터리를 조합한 시스템으로 Power Density와 Energy Density를 동시에 증대시킴. PRT 시스템에 적합한 최적 조합 설계와 제어 시스템의 개발이 필요함.
□ 기술동향	ㅇ 정거장에서 차량 정차시 접촉에 의한 급전시스템은 영국히드로에 적용하고 있으며, 유도 급전시스템은 국내에서도 개발되어 있으며 상용화를 위한 보완과 개선 연구가 진행중임. ㅇ 해외에서는 이미 유사한 하이브리드 배터리 시스템이 개발되어 트램 등에 적용 운행되고 있다. PRT 차량에 적용 예는 아직 없음

3. 연구개발내용

ㅇ 하이브리드 배터리 시스템 기본 요구사항 도출

ㅇ 하이브리드 배터리 시스템 인테그레이션 및 시험

ㅇ 무선 급전시스템 기본설계

ㅇ 무선 급전시스템 제작

ㅇ 무선 급전시스템 시험선 설치

ㅇ 급전 시뮬레이터 개발

ㅇ 하이브리드 배터리 시스템 시뮬레이터 개발

ㅇ PRT 전력 소모 분석

ㅇ 급전 및 에너지 시스템 시뮬레이션

ㅇ 종합 시험평가 시행 및 지원, 각종 기준 작성

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

구분	연구목표	연구 추진전략
1차년도	■ 하이브리드 배터리 시스템 기본 요구사항 도출	- SuperCapacity 용량 산정 및 구매 사양서 작성 - Li 배터리 용량 산정 및 구매 사양서 작성 - 하이브리드 배터리 제어시스템 개념 설계 및 구매 사양서 작성 - 하이브리드 배터리 시스템 시험장치 기본설계 및 구매 사양서 작성
	■ 무선 급전시스템 기본설계	- 기본설계 및 제작 사양서 작성
	■ 급전 시뮬레이터 개발	- PRT 에너지 시뮬레이터 개발
2차년도	■ 하이브리드 배터리 시스템 인테그레이션 및 시험	- 하이브리드 배터리 시스템 제어 알고리즘 개발, s/w 작성 및 시험 - 역사 및 가이드웨이 충전설비 시험
	■ 무선급전시스템제작	- 무선급전시스템 시험절차서 작성 및 시험 - 차량 탑재 및 시험선 설치
	■ 하이브리드 배터리 시스템 시뮬레이터 개발	- PRT 에너지 시뮬레이터 인테그레이션
3차년도	■ 무선급전 시스템 시험선 설치	- 무선 급전시스템 차량 운전 및 시험
	■ PRT 전력 소모 분석	- 급전 및 에너지 시스템 시뮬레이터를 이용한 PRT 에너지 소모 분석 - 통합시험 결과 비교분석 및 보완
4차년도	■ 종합 시험평가 시행 및 지원, 각종 기준 작성	- 하이브리드 배터리 시스템 시험 - 무선급전시스템시험
	■ 급전 및 에너지 시스템 시뮬레이션	- 운행제어 시뮬레이션 수행 - 운행계획 수립 지원

□ 추진체계

ㅇ 급속충전방식의 구성 및 성능 해석, 평가 등 일련의 개발 절차는 전문가 집단의 역할 분담으로 신속한 개발체계 수립

- 슈퍼커패시터 등, 적용 핵심 소자의 내구성 확보 방안 마련

ㅇ 산·학·연의 협동 추진체계 및 외부 전문가 자문위원회 구성을 통해 연구내용의 질적 향상 및 객관성 확보

5. 최종성과물

□ 주요 최종성과물

ㅇ Super Capacity 용량 산정 보고서

ㅇ Lithium 배터리 용량 산정 보고서

ㅇ PRT 에너지 시뮬레이터

ㅇ 운행제어 시뮬레이션 보고서

ㅇ PRT 에너지 소모 분석보고서

ㅇ 무선 급전시스템 설계서

ㅇ 하이브리드 배터리 제어시스템 설계서

ㅇ 하이브리드 배터리 시스템 제어 알고리즘 및 SW

ㅇ 역사 및 가이드웨이 충전 시험 절차서

ㅇ 무선 급전시스템 시험절차서 및 시험보고서

ㅇ 하이브리드 배터리 시스템 시험보고서

ㅇ 통합시험결과 보고서

6. 기대효과 및 파급효과

ㅇ On Line 급전시스템 및 하이브리드 배터리 시스템은 국내 최초로 개발되는 시스템이고 다른 철도시스템에도 적용 가능하므로 관련설계 및 제조 기술 선점/ 발달

ㅇ 전력공급시뮬레이터는 유사시스템 기본설계 시 설계 툴로 사용됨

7. 연구개발기간 및 소요예산

ㅇ 연구기간 : 2012년 ~ 2015년(4년)

ㅇ 지원예산 : 정부 40억 (민간 20억원)

8. 기 타

ㅇ 연구신청자는 RFP에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발

계획서를 작성하되, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 연구내용을 충분한 관련근거를 제시하고, 수정하여 제안할 수 있음.

○ 선정된 연구진은 전문기관과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음.

○ 성과목표(지표)별 연차별 정량적·정성적 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용됨.

○ 연구개발 성과물의 현장시험운영을 통한 실용성 검증 및 사업화 추진계획을 필히 제시하여야 함.

■ 세부과제 4 TRM

	1 차년도	2 차년도	3 차년도	4 차년도
PRT 전력공급 핵심기술 개발	하이브리드 배터리 시스템 기본 요구사항 도출 무선 급전시스템 기본설계 급전 시뮬레이터 개발	하이브리드 배터리 시스템 인테그레이션 및 시험 무선 급전시스템 제작 하이브리드 배터리 시스템 시뮬레이터 개발	무선급전 시스템 시험선 설치 PRT 전력 소모 분석	종합 시험평가 시행 및 지원, 각종 기준 작성 급전 및 에너지 시스템 시뮬레이션
연차별 연구내용	- Super Capacity 용량 산정 및 구매 사양서 작성 - Li 배터리 용량 산정 및 구매 사양서 작성 - 하이브리드 배터리 제어시스템 개념 설계 및 구매 사양서 작성 - 하이브리드 배터리 시스템 시험장치 기본설계 및 구매 사양서 작성 - 무선 급전 시스템 기본설계 및 제작 사양서 작성 - PRT 에너지 시뮬레이터 개발	- 하이브리드 배터리 시스템 제어 알고리즘 개발, s/w 작성 및 시험 - 역사 및 가이드웨이 충전 설비 시험 - 무선급전시스템 시험절차서 작성 및 시험 - 차량 탑재 및 시험선 설치 - PRT 에너지 시뮬레이터 인테그레이션	- 무선 급전시스템 차량 운전 및 시험 - 급전 및 에너지 시스템 시뮬레이터를 이용한 PRT 에너지 소모 분석 - 통합시험 결과 비교분석 및 보완	- 하이브리드 배터리 시스템 시험 - 무선급전시스템시험 - 운행제어 시뮬레이션 수행 - 운행계획 수립 지원
연차별 성과물 (Output)	- Super Capacity 용량 산정 보고서 - Li 배터리 용량 산정 보고서 - 하이브리드 배터리 제어시스템 설계서 - 무선 급전시스템 설계서 - PRT 에너지 시뮬레이터	- 하이브리드 배터리 시스템 제어 알고리즘 및 SW - 역사 및 가이드웨이 충전 시험 절차서 - 무선급전시스템 시험절차서 및 시험보고서	- 무선 급전시스템 차량운행 시험 보고서 - PRT 에너지 소모 분석보고서 - 통합시험결과 보고서	- 하이브리드 배터리 시스템 시험보고서 - 운행제어 시뮬레이션 보고서 - 운행계획 보고서

제5장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구목표 달성도

승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술개발의 1차년도에서는 PRT의 국내외 기술현황 및 시스템 도입을 위한 시범노선 구축 추진 현황 사례를 조사/분석하였으며, PRT 네트워크 운행제어기술 개발을 위한 기본 운행시나리오 도출 및 개념설계를 수행하였다. PRT 시스템의 구현에 있어서 핵심기술인 네트워크 운행제어의 기술적 가능성을 검토하기 위하여, ITS분야의 기존 최적경로탐색 기술을 분석하였으며, PRT 특성을 반영한 알고리즘 설계를 위한 고려사항을 제시하였다. 네트워크 운행에 따른 차량의 유기적인 운영 특성 및 시스템 인터페이스를 분석하기 위하여 기본적인 운행시나리오에 따른 정상상태의 시뮬레이션을 수행하기 위한 프로그램을 제작하였다. 또한, PRT의 국내 도입 적용성 및 도입가능 지역을 도출하기 위하여, 수요분석 방법론 및 비용산정 기준 등 교통공학체계에 따른 검토를 수행하였다. 2차년도에는 시스템요구사항 및 인터페이스 사양(안) 도출 검토와 네트워크 알고리즘 검증을 시뮬레이션을 통해 수행하였다. 또한 도시철도법, 궤도운송법의 비교 검토와 해외사례를 통해 법/제도 기준 제·개정(안)을 마련하여 미래를 대비하고자 하였다. 또한 경제성 평가를 위해 선호도 조사(상암, 송도)를 하여 수송분담모형을 제시하였고 개발된 시뮬레이터를 이용하여 차량 소요량수 및 기술적 요구사항, 비용 등을 지원하였다. 아울러 기술적 검토를 토대로 2단계 사업(시스템 검증)의 기획으로서 기술개발 전략, 목표, 연구내용, 연구비 등 도출을 통해 RFP(안)을 마련하였다.

연구 목표	연구개발 결과	목표달성도
네트워크 운행제어 알고리즘 설계 및 검증	- 네트워크 운행제어 기초자료 분석 - PRT 운행 시나리오 도출 ▪ 기본 운행 시나리오 도출 - 네트워크 운행제어 알고리즘 설계 ▪ 유사분야(ITS) 최적경로탐색 기술 현황 자료 분석 ▪ 네트워크 운행제어레벨 계층 구조 정의 및 기능요구사항 도출 - 네트워크 운행제어 시뮬레이션을 통한 알고리즘 검증 ▪ 정상 운행제어/예외상황처리 알고리즘 설계 및 구현 ▪ 운영특성 분석 시뮬레이션 ▪ 시스템 인터페이스 분석 시뮬레이션 ▪ 정류장 용량 시뮬레이션 분석	100%
시스템 요구사항 및 인터페이스 사양(안)	- 국내외 PRT 기술현황 조사 및 사업추진현황 자료 분석 ▪ 국내외 특허 등 분석 - PRT 시스템 구성요소(차량, 전력공급, 선로구축물, 운행제어)의 기술적 검토 ▪ 하부시스템별 요구사항 및 사양 도출(안) 검토 ▪ 하부 시스템간 인터페이스 검토	100%
PRT 적용성분석	- PRT 수요분석 방법론 개발 - PRT 비용산정 기준개발 - PRT 도입가능 지역 분석 - 법/제도 기준 제·개정(안) 검토	100%
경제성 평가지원	- 운영시나리오(송도, 상암) 도출에 따른 시스템(안) 제시 - 기술자료 및 비용관련 요소 지원 - 평가대상지역(송도, 상암)의 차량소요대수 산정	100%
2단계사업 기획	- 추진체계 및 전략 수립 - 중복성, 기존기술과의 차이점, 예산 등 도출 - 세부과제 및 연구내용 도출 - 세부 분야별 RFP(안) 도출	100%

제2절 관련분야에의 기여도

국제적으로 '지속가능한 교통수단'으로서 부각되고 있는 PRT의 해외 시장의 국내 관련 기업의 진출을 지원하며, 미래형 교통수단에 대한 일본, 독일, 미국 등 선진국과 강력한 후발주자인 중국의 기술선점 및 특허장벽을 극복하고 기술적 기준 체계 수립에 의거한 Global Standard를 창출하여 세계시장을 주도할 수 있도록 한다.

본 연구개발과제는 PRT 시스템에 대한 네트워크 운행제어기술을 크게 향상시켜 자동

차, 철도 등의 설계기술 발전에 파급효과가 매우 클 것으로 예상된다. 또한 도시교통정책 입안을 하는 국토해양부와 지방자치단체의 합치된 목표아래 성능, 안전, 신뢰성이 입증된 시스템이 개발·운영된다면 대규모 교통시설 사이의 연계가 필요한 지역, 지하철 또는 경량전철과의 연계를 위한 접근교통수단이 필요한 지역, 업무중심지역 또는 대규모 쇼핑 유발지역, 관광지 등 위락시설 사이의 연계가 필요한 지역에 신개념의 대중교통서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

특히, PRT 시스템 운행제어 시스템과 관련하여 차량 관련 기술은 현재의 기술 성숙도로 보아 어려움이 있겠지만 궁극적으로 완성에 도달할 것으로 보이나, 네트워크 형태의 노선에서의 운영기술은 전 세계적으로 앞으로 더욱 더 기술개발이 필요한 분야임이 중론이다. IT시대를 맞이하여 기존의 철도 고유기술에 첨단전기전자 기술과 네트워크 기술을 접목시켜 개인 프라이버시를 존중하는 신교통서비스를 제공할 것으로 기대된다. 또한 다른 각도에서 적용 측면을 보면 대규모 환승 복합시설 등의 시설에 활용 통하여 다양한 대중교통서비스의 제공으로 국민의 삶의 질 향상에 기여 할 것으로 판단된다.

제6장 연구개발결과의 활용계획

본 과제는 신교통수단인 PRT와 관련한 핵심 운행기술관련 제반 알고리즘의 기술적 구현 가능성 및 새로운 수단모형을 통한 수송 수요의 정립에 따른 도입 적용 가능성을 확인하는 것을 목표로 하는 과제로서, 알고리즘 구현 가능성 검증 및 도입가능 지역 해석을 중심으로 연구개발이 이루어졌다. 최종적인 성과물에 대한 기대효과 및 활용방안을 살펴보면 종합적으로는 국가기술지도(NTRM: National Technology Road Map)의 친환경적인 PRT 시스템 기술에 부합하는 연구로서, 미래 교통문제 해결에 기여할 수 있는 완전무인자동운전의 신대중교통시스템에 대한 연구개발이다.

1차년도에는 국내외 기술개발 현황의 조사분석, PRT 운행제어 기본설계, 네트워크 운행제어 알고리즘 설계, 네트워크 운행제어 시뮬레이션, 하부시스템별 기술적 검토, PRT 적용 가능성 분석을 수행하였다. 이를 토대로 하여 2차년도에는 예외상황처리 및 공차배치 등을 포함한 실제 운영환경을 반영한 운행제어 알고리즘 설계 및 시뮬레이션 검증을 수행하였다.

본 과제의 연구개발결과는 향후 PRT 시스템의 운행제어장치 설계시 활용될 수 있을 것이며, 기술적 검토 및 도출된 기준, 사양, 설계서는 시스템 구축시 건설기준·지침 등으로 활용될 수 있을 것이다. 또한, PRT 네트워크의 운영 가능성 검증을 토대로 향후 실용화 및 상용화를 목표로 하는 후속 시스템 개발과제의 지침으로 활용될 것이다. 이와 더불어, 적용지역의 특징에 따라 차별점을 정의하여 시스템 도입 환경에 부합하는 대중교통수단으로서의 현장적용방안으로 활용이 기대된다.

본 연구개발과제는 PRT 시스템의 실용화 기반을 구축할 수 있도록 추진될 것이지만, 수요부문의 합의가 결여될 경우 기술개발의 활용효과는 기대하기 어렵다. 따라서 도시교통정책 입안을 하는 국토해양부와 지방자치 단체의 합치된 목표아래 신뢰성이 입증된 시스템을 개발·운영한다면 대다수의 국민에게 안전성을 갖춘 신개념 도시철도 서비스를 우리 기술로 제공할 수도 있을 것이다. 이를 위하여 개발된 시스템의 실용화를 목표로 하는 제조업체, 부품업체, IT업체, 그리고 한국철도기술연구원, 국토해양부가 참여한 협력기구를 설치하고 이를 통하여

- 공동기술 개발 조건
- 기술개발사업 착수 전에 개발품과 개발된 기술의 활용 합의 등의 협약
- 제품의 평가 방법 및 평가기준 합의

- 제품의 delivery 기간 합의
- 지적 재산권 소유권한 합의
- 쌍방의 책임과 권한 등에 대한 협약

의 명문화 작업 등이 선행되면 상당한 효과를 발휘할 수 있을 것이다. 기술개발의 성과물인 신뢰성, 안전성, 유지보수성의 체계 정립을 통하여 운영자에게는 수지 개선이 되고 수요자에게 궁극적으로 안전성을 바탕으로 한 서비스의 향상을 도모함으로서 국민 삶의 질 향상에 도움이 되는 형태가 되도록 해야 한다.

기술 파급 방안으로는 신개념의 PRT 시스템 기술은 기존의 철도차량업체, 부품업체 등의 업체와 시스템업체가 시스템과 차량을 기술개발하고, 전력공급시스템 및 신호 시스템 또한 기존의 공급업체가 기술개발하며, 선로구축물의 설비 및 시공사양 확정에 따른 시공은 토목/궤도분야의 산업체가 주도적으로 수행함으로서 기존의 궤도 시스템 기술의 향상을 통해 진정한 기술의 확장성을 얻을 수 있을 것이다.

- H/W개발시 기업의 적극적 사업참여 유도
- 개발단계부터 역할과 향후 실용화를 위한 중심이 되도록 기업을 참여시켜 수행

기술개발사업의 결과를 실용화하기 위해서는 다음과 같은 정책개발이 뒤따라야 할 것이다.

- 초기 개발품을 실용화할 수 있는 지역을 선정하여 시범사업 수행하는 방안 채택
- 개발완료 후 민자유치 사업으로 개발시스템 제안 시 정부 권장 정책의 채택
- 개발 완료 후 양산하기 위한 시설자금에 대한 금융지원 정책의 채택

제7장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제1절 2getthere, INRETS(ARAMIS)

1. 출장개요

○ 현재 선진국들은 21세기 성장전략산업으로 철도분야를 설정하고 차세대 기술을 선점하기 위해 국가적인 지원과 개발이 진행되고 있으며, 핵심기술에 기반을 세우는데 전력중임.

- UAE의 두바이와 아부다비, 스웨덴 스톡홀름과 알란다공항, 영국의 다벤트리 등 유럽, 중동을 중심으로 PRT시장이 널리 확산될 전망임.
- 영국의 ULTra PRT社는 PRT개발의 선두주자로서 세계최초 상용노선 개통을 앞두고 있는 상황에서 전 세계의 잠재적 PRT시장을 석권할 것으로 예상됨.

○ 이와 같은 대내외적 환경으로 인해 PRT의 역할과 필요성에 대한 관심이 재고되고 있는 바, 현재 진행되고 있는 R&D의 추진 에 있어 국외 PRT 관련 업체의 기술수준 파악 및 관련자료 수집을 위해 본 출장이 기획되었음.

○ 네덜란드의 2getther社는 Floriade 2002 전시회를 통해 CyberCabs 라는 초기 PRT 시스템을 선보였으며, 현재 도심 환경의 PRT 시스템으로서는 세계 최초로 거론되는 아부 다비의 Masdar city PRT 프로젝트의 시스템 공급자로 선정되어 1.2km의 시범노선 구축을 계획중에 있으며, On-demand 형태의 GRT 시스템인 rivium 시스템을 상업 운행 경험을 지닌 회사로써 PRT 시스템의 운영기술의 문제점 및 노하우 정보를 얻고자 함.

○ 새로운 대중교통시스템으로서의 PRT 시스템은 기존 대중교통과 상이한 수송역활에 따른 적용성의 검토가 필요하며, 이를 위해 국외 관련 업체의 PRT 도입을 위한 적용성 검토에 따른 분석 자료 및 의견을 얻고자 함.

2. 2getthere(네덜란드)

○ ParkShuttles 운영 노선

- 네덜란드 서부 Capelle aan den IJssel시 소재
- Capelle aan den IJssel시는 인구 6만5천, 면적 15.42 평방km의 지방자치도시이며, Rotterdam의 동쪽 가장자리에 위치
- 네덜란드 최대 대중교통운영회사인 ConneXXion사에서 운영
- Kralingse Zoom 전철역과 Rivium 산업단지를 연결하는 대중교통수단
- Rivium 산업단지에는 Sodexho Nederland, Sodexho Prestige, Shell Nederland, local energy company Eneco 등의 다수의 회사 입주



<그림 7.1.1> Rivium 산업단지내 ParkShuttle 노선
(Kralinse Zoom역 ~ Rivium business park)

- 2 단계에 걸쳐 현재 노선 완공(5개역, 1800m)
  - 1단계(1300m, 2001년) : 단선, 양방향 운행, 터널 및 교각 설치, 4분 소요
  - 2단계(500m, 2005년) : Rivium 산업단지가 확장됨에 따라 노선 확장이 요구됨. 산업단지내 승객들의 편의를 위해 3곳의 역이 추가로 설치됨. 일부 터널 및 교각을 제외하고 복선으로 단방향 통행이 이루어지며, 교각 및 터널에서는 운영자의 제어에 따라 교행되어 운영됨.
- 6대의 차량(탑승 가능수 좌석: 12, 입석: 10이상) 운행



<그림 7.1.2> 복선구간(일반) 및 단선교행구간(교각)

- 운영 방식은 On-demand(평상시)와 On-schedule(출퇴근시)이 혼합되어 적용됨
  - 최대 수송용량은 500 p/ph/pd으로 1일 평균 승객 수송용량은 1500명이며, 피크시간에는 2.5분 간격으로 On-schedule 모드로 운영됨.
  - 운영 시나리오는 시간 설정에 따라 자동적으로 운영될 수 있으며, 상황에 따라 운영자의 개입에 의해 수동으로 전환될 수 있음.
  - ParkShuttle 시스템은 7가지 운영시나리오(Morning, Morning Rush, Day Time, Lunch Time Rush, Evening Rush, Evening, Night)를 가지며, 그중에서 현재는 5가지 운영시나리오로 운영되어지고 있음.
  - 운영시나리오에는 포함되어 있지 않지만, 시스템 운영에 영향을 미치는 예외상황을 처리하기 위하여 유지보수를 위한 재경로 설정 및 내/외부 비상상황 처리 등의 동작을 수행함.

- 시스템의 운영은 산업단지의 특성상 평일 5일 동안 12시간 운영되어지고 있으며, 운영비용은 Capelle aan den IJssel시에서 지원을 받아 무료 승차로 운영되어지고 있음.

- 시스템 운영자는 운영실에 설치된 모니터로 차량의 주행상태를 CCTV 및 FROG 시스템으로부터 전송된 차량위치 정보로부터 확인 가능함.



<그림 7.1.3> ParkShuttle 운영실 및 차량정보 모니터 시스템

○ ParkShuttle 차량 시스템

- 치안, 범죄 등의 안전을 위해 차량 내부에 CCTV가 설치되어 있으며, 사고 대비를 위해 전방 및 하부에 CCTV가 설치되어 24시간 기록되고 실시간으로 운영실로 전송됨.

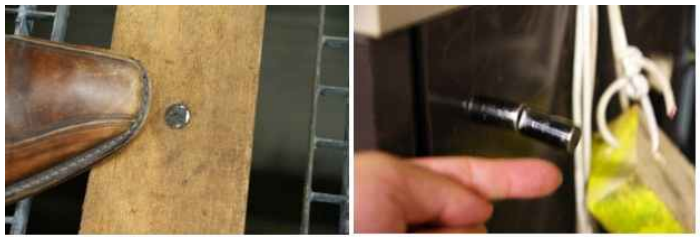


<그림 7.1.4> CCTV(차량 내부 및 외부하단[장애물검지])



<그림 7.1.5> 운영실 CCTV 모니터(차량내부, 차량전방[상측, 하측])

- ParkShuttle은 22년 이상 APM 시스템에 적용되어온 자사의 FROG(Free Ranging On Grid) 운항 시스템을 사용하며, 이 시스템은 PRT 시스템인 CyberCab에 동일하게 적용됨.
  - 설계된 경로에 따라 저장된 전자지도를 기반으로 차량이 제어되며, 주행중인 차량은 휠의 회전수 및 조향장치의 조향각을 측정하여 거리 및 방향을 측정함.
  - 저장된 경로에 대하여 차량의 위치 계산을 보정하기 위하여 궤도 표면에 묻은 강자성체를 기준점으로 활용함.
  - 강자성체를 보조로 하여 FROG 시스템은 정확도를 80km/h의 속도에서 4cm까지 개선함.



<그림 7.1.6> FROG 시스템의 위치보정을 위한 강자성체

- ParkShuttle은 동력원으로서 전기충전방식이 적용되었으며, 슈퍼커패시터 방식은 제작 단가 및 유지보수의 문제점으로 고려하지 않고 있음(1회 충전시 약 8시간 소요, 620Ah, 84V).



<그림 7.1.7> ParkShuttle의 충전기 및 충전지

- 차상자동제어장치의 결함이 발생하였을 경우, 유지보수자가 수동제어기를 차량과 연결하여 수동으로 차량을 이동시킬 수 있도록 설계함.



<그림 7.1.8> ParkShuttle 수동운전장치

3. 프랑스 INRETS/라데팡스

○ 프랑스 교통정책 및 평가방법 협의

- 프랑스 교통정책 방향
  - 기본적으로 보행자 위주의 교통체계
  - 현재의 파리시장이 취임한 이래 대중교통 중심의 교통정책을 적극 추진
  - 일반차로를 감소시키면서 버스전용차로를 확대하는 과정에 많은 시민들의 반대 여론에 부딪히고 있으나, 버스전용차로 설치공사 후에는 결과적으로 시민들에게 혜택이 돌아갈 것이라는 신념하에 지속적으로 사업을 진행 중임

- 투자평가방법
  - 프랑스의 경우 교통SOC 투자 타당성 평가 시 MCA(Multi-Criteria Analysis)방법 중 하나인 B/C방법을 활용(단, 화폐가치화하기 힘든 항목의 경우 정성적 또는 정량적 방법을 통해 분석되며, B/C결과와 함께 투자평가 시 활용)

- 일반적으로 PRT 등 교통사업의 효과는 다음과 같이 3가지로 구분
  - 직접적인 효과(Direct Impacts)
  - 환경적인 효과(Environmental Impacts)
  - 사회·경제적 효과(Socio-Economic Impacts)

- 직접적인 효과의 경우 통상 CBA에서 반영
  - 프랑스의 경우 교통사업으로 인한 직접적인 효과 중 화폐가치화 가능한 항목으로 건설비용, 차량운행비용, 시간절감 및 안전개선 등을 반영
  - 그러나, 이러한 직접적인 효과에 대해 화폐가치화하는 과정에서 공감대 형성이 필요함
  - 특히, 직접적인 효과 중 화폐가치화 어려운 항목 즉, 공사 중단 시 소요되는 비용(Disruption Cost), 용지 및 자산 비용의 경우 반영하지 않음

- 환경적인 효과의 경우 소음개선, 환경오염(Local & Global) 개선 등을 반영하고 있으며, Loss of important sites와 같은 효과의 경우 정성적인 평가(Qualitative Assessment)를 통해 반영

- 그러나, 진동(Vibration), 도시분할(Severance), 경관(Landscape), 토질 및 수질오염(Ground/Water Pollution) 등의 효과는 반영되지 않음
  - 사회·경제적 효과의 경우 대다수 국가에서 반영여부에 대한 공감대가 형성되지 않고 있는 항목
  - 프랑스의 경우 교통SOC투자로 인한 사회·경제적 효과를 정성적 평가방법을 이용하고 있으며, 경제발전(Economic Development), 고용창출(Employment), 국제교통개선(International Traffic) 등을 평가항목으로 고려
  - 특히, 프랑스의 경우 경제성 분석 시 적용되는 사회적 할인율을 8%를 적용

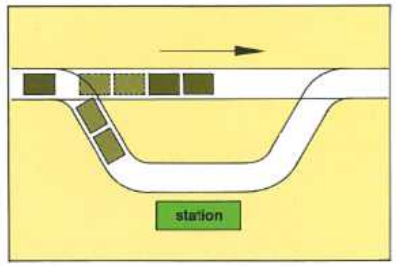
- 미국, 영국의 경우 통상 3%~5%를 적용하고 있음 (국내는 5.5%를 적용)

○ PRT 연구현황(ARAMIS)

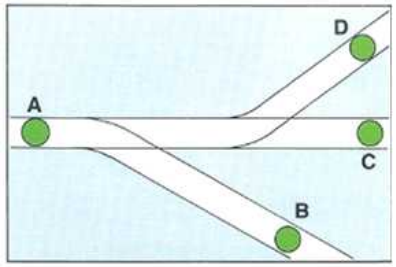
- INRETS 면담자인 Kuhn에 따르면 프랑스의 경우 PRT와 유사 시스템인 GRT 개념의 ARAMIS 개발을 추진.

- 프랑스의 경우 1980년대 PRT 시스템 도입에 대한 논의가 시작
  - 기술적 도입 타당성 검토, 수요분석, Test Bed 구축 및 시범운행 단계까지 사업이 진행

- 프랑스에서 1980년대 초 개발된 PRT 시스템
  - 승차인원 10인(좌석기준) 내외
  - 차량끼리 붙어서 이동하고, 정차장이 다를 경우 분리가능
  - 궤도를 통해 움직이며, 전자창치가 탑재되어 정거장 및 기종점에 대한 정보가 프로그래밍 되어 있음



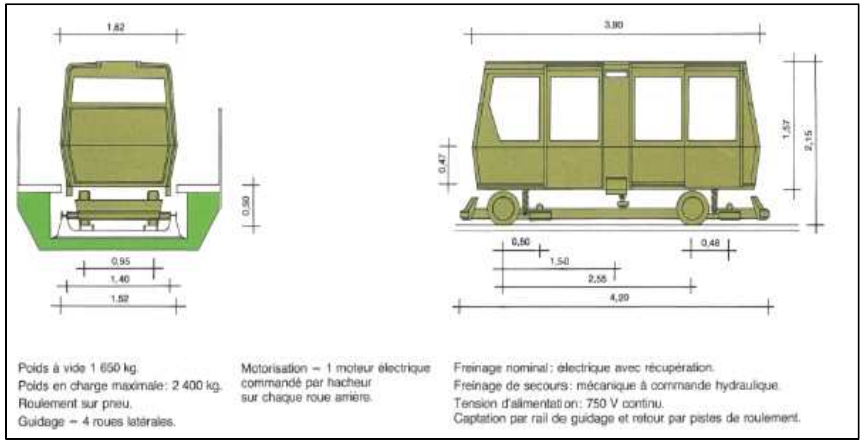
<그림 7.1.9> ARAMIS 운행특성(차량분리)



<그림 7.1.10> 궤도내 다양한 목적지 이동가능

- 차량 및 시스템 특성
  - 탑승자 전원 좌석 (좌석형)
  - 고무차륜
  - 대기시간 최소화 (30초 내)
  - 반(半) 직행 서비스 가능
  - 노선 환승에 추가시간(환승대기 및 탑승 하차 시간)이 필요 없음
  - 유닛당 수송용량이 적음에도 매우 짧은 차량의 순환으로 인해 많은 수송이 가능

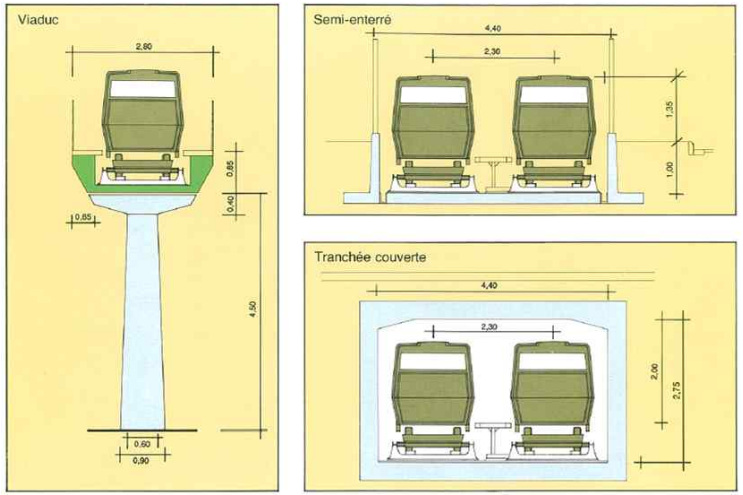
대수송량 12,000명/시(설계기준) (7.1.1)



<그림 7.1.11> ARAMIS 차량제원

- 적용대상지역
  - Metro, SNCF 등과 같은 중전철의 연계수단으로 활용
  - 격자형 네트워크 형태의 고밀도 지역
  - 버스와 연계하여 중저밀 지역내 이동수단으로 활용
  - 공항, 업무지구, 전시장 등의 접근 교통수단
  - 관광지 또는 레저지역 등 소음 및 공해로부터 보호되어야 하는 지역의 교통수단

- 타 시스템에 비해 도입이 용이
  - 시험 수행 결과 소규모 인프라로도 구축이 가능하며, 회전반경이 작고, 통과 가능 경사가 높아 실용적인 측면에서 유리
  - 적은 공사로 인한 투자 (토목작업이 중전철보다 1/4배정도 비용이 적음)
  - 운영비용 : 수송 및 유지보수 자동화
  - 에너지 소비 : 수요에 맞는 서비스 제공 (중전철 대비 30% 에너지 감축)



<그림 7.1.12> ARAMIS 주요 구조물 제원

○ PRT 연구현황(라데팡스 : 프랑스 대표적 복합환승센터)

- 인공지반의 도입과 다층구조를 통해 도로, 철도, 지하철, 주차장 등의 지하입체 교통처리시스템 구축
- 14번 고속도로(A14), 지하철인 메트로 1번선, RER(고속철도) A선, SNCF(국철), 버스 18개노선 등이 모두 복층도시의 지하로 설치됨(1일 15만명 수송, 유출입 통행수요의 85% 담당)
- 보행자 위주의 새로운 지상환경 창출(관광버스를 제외한 모든 차량은 지하로 통행)
- 라데팡스역은 지하에 위치한 종합환승시설로서 RER, SNCF(국철), METRO, BUS 등 다양한 교통수단이 연계되어 있으며 승용차와 대중교통수단간의 환승을 위한 환승주차장 시설도 갖추고 있음
- 장애인을 고려한 시설 설치 및 운행정보안내시스템 구비하고 있음
- 규모 및 시설구성

시 설 명		- 라데팡스
위 치		- 파리 중심부 서쪽 6km 지점
규 모		- 부지면적: 약 230만평 - 투자규모: 약 25,7000억원
개발컨셉		-업무, 주거, 상업, 숙박, 문화 등의 복합기능 - 파리 서측 도시중심측사의 기념비적 개발
시설구성	상업기능	- 6만평: 대형전문상가 등
	주거기능	- 2만호
	문화·위락 기 능	- 국제회의장(55,000평), 자동차 박물관, IMAX 극장, 시청
	기 타	- 옥외 조각 전시장, 인공지반, 공공정원(33,000평) - 주차장 25,000대 규모



<그림 7.1.13> 라데팡스 배치도와 보행자 전용 광장



<그림 7.1.14> 라데팡스 지하교통수단 종류와 교통수단 위치 안내도

제2절 미국

1. 출장개요

○ 최근 국제적 이슈가 되고 있는 환경 변화에 대응하기 위한 '지속가능한 교통수단'으로서, 환경친화적이고 에너지 소비가 적은 신교통시스템과 관련하여 꾸준한 연구/개발 및 사업화가 이루어지고 있음.

○ 이와 같이 지속적으로 주목을 받고 있는 신교통시스템의 도입에 있어서, 필수적으로 요구되어지는 첨단 운영 기술의 확보를 위해 국외 기술 수준의 파악 및 최신 연구 동향의 파악을 위해 본 출장이 기획되었음.

○ 시스템 차원에서 타 시스템과 연계성 검토에 참조를 위하여 연구개발 및 관련기술 동향 조사

○ 새로운 교통시스템에서 운행 안전(Safety 요건), 제원, 성능, 사양 관련 정보 수집 및 새로운 시스템 개발 현황 파악

○ 시뮬레이터 개발에 이용되는 파라미터 정의 및 인자 검토

2. CyberTran

○ CyberTran은 승객 15-20명 정원의 소위 ULR(Ultra Light Rail transit)임

○ ULR의 특징

- LRT에 비해 차량의 크기가 현저히 작다.
  - CyberTran(길이 : 38 ft. 무게(승객포함) 10,000파운드, 승객정원 15~20명)
  - Taxi 2000 (무게 1톤 미만, 승객 3명)
- Computer Control
  - Computer Control이 ULR에 한정된 이라는 말이 아니고 ULR은 computer control 이래야 한다는 의미이다. 그것은 차량이 작기 때문에 차량 마다 드라이버가 있으면 승객 당 overhead cost가 커지기 때문이다.
- 승객 운행 시간이 짧다.
  - 동일한 거리를 운행하더라도 ULR은 중간 역을 거치지 않고 직접 목적지까지 주행함으로 승객의 운행시간이 단축된다. 이것은 ULR의 정차장이 mail line에서 벗어난 소위 off line에 위치하기 때문에 가능하여 진다.
- 승객 당 수송 에너지가 경쟁 시스템인 LRT 보다 유리함.
  - 차량이 주행할 때 소요되는 에너지는 크게 나누면 acceleration 에너지, rolling f

riction 에너지, elevation in grade 에너지 및 공기저항에 따른 소요 에너지로 구성된다. 여기서 공기저항에 따른 에너지를 제외한 3가지 소요 에너지는 차량의 무게에 거의 비례한다. ULR은 승객 당 차량 무게가 LRT의 그것과 비교해서 작기 때문에 LRT에 비해 에너지 효율이 높다고 말할 수 있다.

- 승객 당 차량의 무게를 비교하기 위해 예를 들어 LRT의 공차무게를 40톤, 승객 정원을 200명, ULR의 공차무게를 4톤 승객 정원을 20명으로 가정 했을 때, 다음 표에 승객 수에 따른 승객 당 차량 무게를 계산하였다. 승객의 무게는 2시스템에서 동일하기 때문에 생략하였다. 또한 ULR은 시격은 충분히 짧게 운영할 수 있는 것으로 가정.

승객 수	승객 당 LRT 무게[ton]	승객 당 ULR 무게[ton]	비 고
200	0.2	0.2	ULR 10대
100	0.4	0.2	ULR 5 대
50	0.8	0.24	ULR 3 대
20	2.0	0.2	ULR 1 대
2	20.0	2.0	

- 표에서 나타내듯이 LRT나 ULR은 승객이 정원보다 많거나 비슷할 때는 승객 당 차량 무게가 비슷하나 승객이 줄어들면 승객 당 무게가 LRT의 경우 훨씬 더 커진다. 바로 이 점이 LRT가 ULR에 비해 에너지 효율이 나쁜 결과를 초래한다.



<그림 7.2.1> 2인승 CyberTran 프로토타입



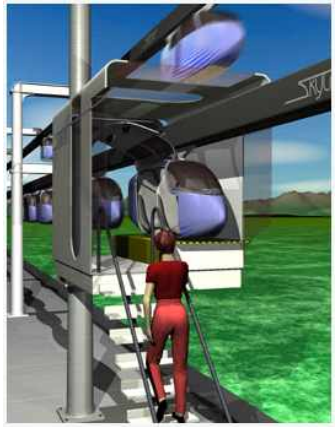
<그림 7.2.2> CyberTran 내부, 2열시트



<그림 7.2.3> CyberTran 철제 바퀴 및 전체외관

3. SkyTran

○ Sky Tran은 2인승의 PRT로 차체의 중량을 줄임으로서 인프라시스템을 경량화할 수 있고 시격도 줄일 수 있는 이 점이 있다. 추진은 passive(EMS) magnetic levitation과 linear synchronous motor를 이용하는 개념이다. maglev 시스템에 대한 기술은 NASA와 기술사용 계약이 되어 있다고 함. SkyTran 관계자는 시격을 0.5초까지 줄일 수 있다고 주장하나 실제 paper 상 이론일 뿐 아직 실체는 없어 보임. 가이드웨이의 최소반경을 20m까지 최고속도는 150mph까지 가능하다고 하나 이론적 근거는 아직 완성되어 있자 않아 보임. 가이드웨이 구축은 모듈화된 구성품을 공장에서 생산하여 현장에 설치하므로 공기 및 건설비용을 줄일 수 있다고 함.



<그림 7.2.4> SkyTran 개념도



<그림 7.2.5> SkyTran 구성도

○ 가이드 웨이(그림 7.2.7 참조)가 일부(7m 정도) 설치되어 있었으나 주행이 가능한 상태는 아니었음.

○ 가이드 웨이에 linear synchronous motor(LSM)의 코일이 설치되어 있었으나(그림 7.2.6 참조) LSM 코일에 3 상 전원을 공급하는 시스템은 없었음. 데모용일 수도 있음.

○ Levitation coil은 없었음.





<그림 7.2.6> SkyTran 프로토타입과 프로토타입의 LSM



<그림 7.2.7> SkyTran 가이드웨이

4. PRT International

○ PRT International사에서 Dr. Anderson씨에 의해 개발된 시뮬레이터 논의

- 입력사항
  - 각 node(인터섹션)의 위치 좌표
  - 정차장 위치
  - 정차장의 berth 수(현재는 직렬 배열만 고려됨)
  - 가이드 웨이 각 섹션의 Line Speed
  - 차량의 허용 가감속도, Jerk, roll rate
  - OD data

- 추가 입력 데이터(선택 입력)
  - 평균 승 하차 시간
  - 속도에 따른 차량의 소비전력

○ OD data에 의한 승객의 출현
- 승객의 출현은 Random한 성격을 지닌다. 따라서 프로그램 내에서 승객의 출현은 Random 숫자 발생기를 이용하여 결정한다. 예를 들어 i 역에서 j 역으로 수송 수요가 $_j$ / hour 이고 시뮬레이터의 타임스텝이 0.5초라고 하면 1 시간에 타임 스텝은 7200개가 되고 각 타임스텝에서 승객 수요가 일어날 확률은 D_{ij} 7200 이 된다. 따라서 Random generator 에서 발생된 숫자가 $D_{ij}/7200$ 미만일 경우 만 차량을 i역에서 j 역 으로 배차 시킨다.

○ 데이터의 저장
- 시뮬레이션 기간 동안 차량, 승객, 트랙 등의 정보가 바뀐다. 개발된 프로그램에서는 각 타이스텝에서의 Data를 배열에 보관한다. 현재 각 스텝에서 각 차량이 갖는 속성 수는 35개, 각 승객에 대해서는 15, 각 정차장은 31개, 각 트랙은 12개를 갖는다.

○ 차량의 운전 모드
- 차량 운전 모드는 3가지로 나누어진다. 한 스피드 및 가속도에서 다른 스피드 및 가속도로 가는 모드, 정차장에 진입할 때와 같이 주어진 거리에서 완전 정차할 수 있도록 감속하는 모드, 가상의 앞차와의 거리를 주어진 거리만큼 늘려서 주행 후에는 line speed로 주행하고 앞차와는 주어진 시격을 유지할 수 있게 하는 운전 모드. 뒤로 a 앞 차량에 n대해서 주어진 시격만큼 떨어져 운행되도록 한다.

○ 공차관리
- 만약 정차장에 들어오는 차량이 많으나 나가는 차량이 적어서 공차의 수가 정차장 berth의 수를 초과하는 경우에는 공차를 인근의 차량저장소로 이동시킨다. 만약 공차가 추가로 필요한 정차장이 있을 경우 이 차량저장소에서 공차를 이송 받는다. 여러 정차장에서 공차를 요구할 경우에 중앙 콘트롤러는 역사 승객의 평균대기시간을 비교하여 평균대기시간이 긴 역사부터 공차를 이송시킨다.

○ 스카이웨이 방문
- 미니애폴리스 스카이웨이는 다운타운 지역에 빌딩과 빌딩 사이를 유리 “tunnel”을 이용하여 연결시켜 놓은 보행자 도로이다. skyway의 총 연장은 8 mile 이며 이 도로는 다운타운의 관심지역을 지나간다(shops, restaurants, 은행 등 서비스 업체, 사무실, historic site, 영화관, 시청, 호텔 등)
- PRT 과제와 관련되어서는 향후 도심 여건에 따라서 이와 같이 빌딩 내에 PRT 가이드웨이, 정차장 등을 설치 할 수 있음을 보여주는 것이다.



<그림 7.2.8> 건물과 건물사이 글라스 터널

제3절 아랍에미레이트연방

1. 출장개요

○ 영국의 ULTra PRT社는 PRT개발의 선두주자로서, 2009년 영국 런던 히드로 공항에 Pilot System이 건설되었으며, ULTra시스템이 운영되고 있음.

○ 최근 네덜란드의 2getthere社에 의해서 만들어진 PRT가 2010년 11월 아랍에미레이트 연방의 Masdar city에서 운영되기 시작되었음.

○ 세계 최초 상용노선 개통을 앞두고 있는 상황에서 영국 ULTra PRT社와 네덜란드 2getthere社가 전 세계의 잠재적 PRT시장을 석권할 것으로 예상됨.

○ 이와 같은 대내외적 환경으로 인해 PRT의 역할과 필요성에 대한 관심이 재고되고 있는 바, 현재 진행되고 있는 R&D의 추진에 있어, 국외 아랍에미레이트연방의 Masdar시에 적용된 PRT 시스템에 대한 자료 및 의견을 얻고자 함.

○ 2getthere社는 Floriade 2002 전시회를 통해 CyberCabs이라는 초기 PRT 시스템을 선보였으며, 도심 환경의 PRT 시스템으로서는 세계 최초로 아부다비의 Masdar city PRT 프로젝트의 시스템 공급자로 선정되어 1.2km의 시범노선 구축하였으며, On-demand 형태의 GRT 시스템인 rivium 시스템을 상업 운행 경험을 지닌 회사로써 PRT 시스템의 운영기술의 문제점 및 노하우 정보를 얻고자 함.

○ 현재 Masdar city에서 운행 중인 PRT시스템은 승객용 차량 10대, 화물용 차량 3대가 단선형태로 약 1.2km 구간에서 운행되고 있으며, 이와 관련된 승객 및 화물 혼합 PRT 운행제어 적용사례에 대한 기술협의를 하기 위해 본 출장이 기획되었음.

2. Masdar City PRT

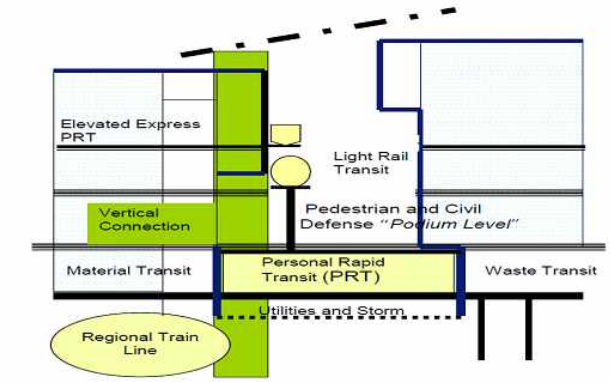
○ Masdar City 개발은 2008년 2월부터 Abu Dhabi 공항 인접 6km2 규모의 친환경 도시로 총 220억 달러를 투입해 4만명 거주, 5만명 통근, 1500개 기업·연구소를 수용하고, 모든 에너지를 신재생에너지로 공급하고 폐기물 발생이 전혀 없는 도시 개발을 추진 중(2030년 최종 완료 목표).

○ 현재 1단계 사업이 추진중이며, 1단계 사업 계획중 Masdar Institute가 완공이 되어 운영되어 지고 있음. 향후, 995,000m2의 규모로 Masdar 본부, 거주지역, 상업지역, 레져공간, 소매상가 등이 지어질 예정임.



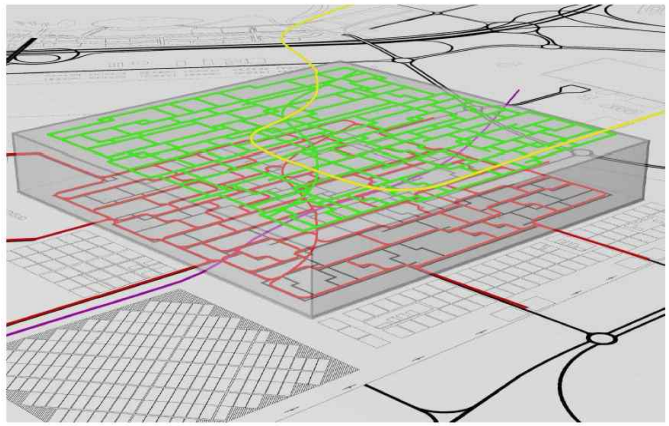
<그림 7.3.1> Masdar city 1단계 계획도 및 공사중인 Masdar Institute 전경

○ 친환경 계획도시 Masdar City는 무자동차, 무이산화탄소배출, 무폐기물을 추구하고 있으며, 도시 전체가 7m 콘크리트 기둥 위에 세워지도록 계획되고 있으며, 기둥 아래 공간은 무인 자동화 운송수단인 PRT 시스템이 운행되고 있음.





<그림 7.3.2> Masdar City 지속가능 교통수단 개념



<그림 7.3.3> Masdar City 교통 및 이동 시스템 계획

○ Masdar City의 교통 및 이동 시스템 계획은 그림 7.3.3과 같으며, 가장 낮은 적색 네트워크는 외부 주차장까지 확장이 가능한 PRT 시스템이 담당을 하고, 가장 높은 녹색 네트워크는 보행자 시스템임.

○ 이 도시는 PRT시스템과 더불어, 보행자 중심의 도시환경이 될 것이며, PRT 차량은 약 40km/h의 속도로 주행될 것이며, 도시에서 가장 긴 여정은 대략 10분 정도 소요될 것임.

○ 2getthere사는 8대의 PRT, 가죽 인테리어가 추가된 2대의 VIP, 3대의 FRT를 이용하여, Masdar Institute of Science and Technology(MIST)의 링크를 제공하는 Masdar시의 1단계의 공급자로 선정되었음.

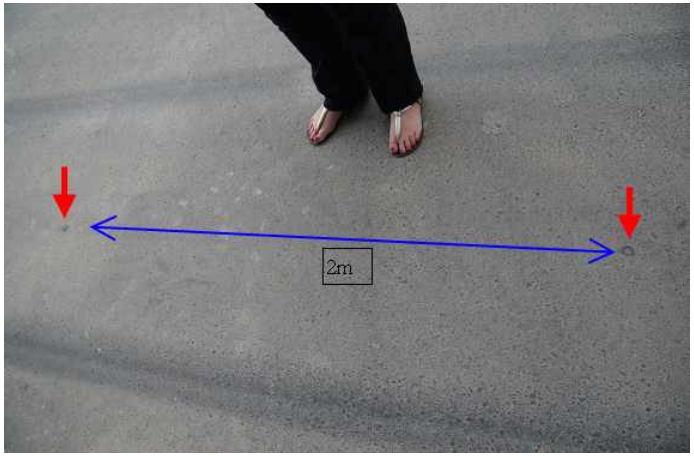


<그림 7.3.4> 2getthere PRT 차량의 내부모습

○ 현재 1단계가 완료단계에 있으며, 네트워크는 약 1.2km 연장이며, 승객을 위한 2개의 정거장과 화물을 위한 3개의 정거장으로 총 5개의 역으로 구성됨.

○ Masdar City 내에 위치하고 있는 Masdar Institute of Science and Technology 연구원 및 학생 약 200명이 현재 PRT를 무료로 이용하고 있음.

○ 차량의 주행안내는 자기력의 응동을 이용하여 이루어지며, 자석 센서는 주행로에 2m간격으로 콘크리드(또는 아스팔트) 궤도에 매설되어짐.



<그림 7.3.5> 차량 주행안내 자석 센서

○ 현재는 2개의 역사로 이루어져 있으나, 최종적으로는 약 85개의 역사가 건설될 예정이며, 하루 당 130,000회 주행 서비스를 위해 3,000대의 PRT가 운행될 예정임.



<그림 7.3.6> Masdar City에서 운행중인 2getthere사의 PRT 차량

○ 보행자 레벨을 올림으로서 만들어진 가상의 지하공간과 언더크로프트(undercroft)안의 전용 가이드웨이는 Freight Rapid Transit (FRT)도 수용할 예정이며, 현재 Masdar City에서 시험 운행 중.

○ FRT 시스템은 거주민, 상점, 호텔 등에 화물 수송을 위해 하루에 5,000회 주행할 수 있으며, 평상형(flatbed) 차량은 2개의 팔레트(pallets)를 수용할 수 있으며, 최대 총 하중은 1,600kg임.

○ PRT와 FRT는 재생 가능한 에너지원에 의해 전적으로 공급받고 있으며, 차량에는 Lithium-Phosphate 배터리가 장착되며, 1.5시간 충전으로 약 60km까지 주행 가능하며, berth에 정차할 때 충전을 보충함.



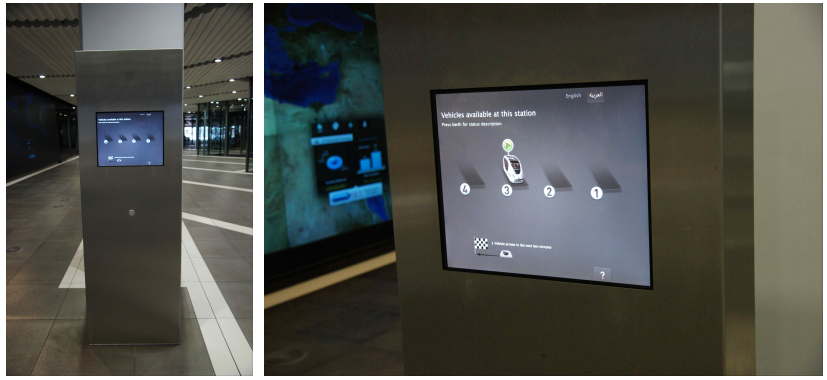
<그림 7.3.7> Berth에 설치되어 있는 충전 설비

○ 차량은 추가적인 주차공간 또는 차고 없이, 역에서 충전되며, 역들은 모든 차량이 독립적으로 입고, 출고가 가능하도록 angled berths로 되어 있음.



<그림 7.3.8> Angled berth에 정차중인 PRT 차량

○ 역의 입구측에는 승객들이 탑승할 berth를 선택할 수 있도록 키오스크(kiosk)가 설치되어 있으며, 키오스크에는 탑승가능한 차량이 정차중이면, 화면의 해당 berth에 차량을 터치 스크린에 표시하여 선택하도록 함.



<그림 7.3.9> 역에 설치된 키오스크

○ 키오스크에서 차량을 선택한 승객은 berth로 이동하여 스크린도어 버튼을 클릭한 후, 차량에 탑승하여 내부에 설치된 터치스크린 모니터에서 행선지를 선택하여 출발함.



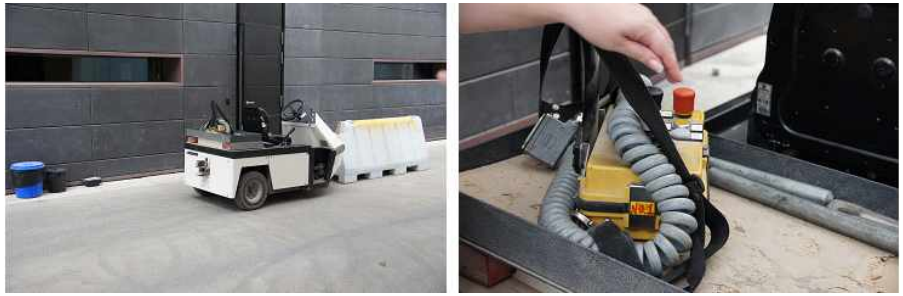
<그림 7.3.10> Berth에 설치된 스크린도어 버튼 및 차량내부의 안내 터치스크린

○ 현재, 1단계 구간에서는 10대의 승객차량 및 3대의 화물차량만이 운행하므로, 운영센터가 간소하며, CCTV를 통해 차량내부를 확인하고 이례상황 발생시 방송으로 안내함.



<그림 7.3.11> PRT 운영실 및 운행제어 모니터

○ 주궤도가 일반차량과 공유가 가능하므로 차량의 고장 및 사고 발생시 견인차량이 투입되며, 단순제어장비에 고장이 발생하였을 경우, 수동조정장치로 견인함.



<그림 7.3.12> 비상견인차량 및 수동조정장치

○ 3량의 차량이 입고될 수 있는 정비소에서는 충전과 동시에 간단한 유지보수 및 청소가 이루어짐.



<그림 7.3.13> 비상견인차량 및 수동조정장치

○ 2getthere사에서 제작한 차량의 개발비용을 포함하여 차량당 4.5억원이며, 궤도는 마스다르시의 건설특성상 도시의 지하공간에 설치되어 궤도설치에 따른 추가비용의 산정이 어렵지만, 주행안내 자석 센서 및 누설동축케이블 통신설치에 필요한 비용 정도가 추가됨.

<표 7.3.1> Masdar 프로젝트 PRT 차량 사양

첨두시 처리용량	500 p/ph/pd currently
서비스 횟수	On-demand
운영 시간	24hrs. p/d, 7 days p/w
구성 형태	Network
연결 형태	Direct (Non-stop)
차량 형식	2세대 CyberCab
차량 수	10 PRT / 3 FRT
좌석/입석	4 adults + 2 children
추진 방식	Electric
감시제어시스템	TOMS
궤도 길이	1,200 meters (one-way)
정거장 수	2 off-line (+ 3 freight stations)
역당 Berths	6
교통 및 보행자를 위한 교차로	On podium level

제8장 참고문헌

■ 문헌자료

1. 한국철도기술연구원, “차세대 도시철도시스템 기술개발사업 1차년도 연구보고서(분야 : 소형궤도열차시스템),” 2006.7.
2. 한국철도기술연구원, "PRT 시스템 운행제어기술 기초연구“, 2009.12
3. 김유원 외, <동적 최적경로 탐색 솔루션>, 2003
4. 임강원, 임용택, <교통망분석론>, 서울대학교출판부, 2003
5. 박병규, 노정현, 정하욱, “신경망이론에 의한 링크 통행시간 예측모형의 개발,” 대한교통학회지 제13권 , 제1호 , 1995
6. 남궁성, 노정현, <전문가 시스템을 이용한 최적경로 탐색시스템(X-PATH)의 개발>, 1995
7. 이승환, 최기주, 김원길, <도시부 ATIS 효율적 적용을 위한 탐색영역기법및 양방향 링크탐색 알고리즘의 구현>, 1996
8. 최종욱 외, <ITS와 첨단정보기술>, 1997
9. 조범철, 이승재, <적응성 있는 단기간 속도 예측모형 개발에 관한 연구>, 1998
10. 이영인, 최찬영, <칼만필터링을 이용한 구간 속도 예측에 관한 연구>, 1998
11. 김익기, <ATIS를 위한 수정형 덩굴망 최단경로 탐색 알고리즘의 개발>, 1998
12. 김남선, 이승환, 오영태, <신경망을 이용한 고속도로 여행시간추정 및 예측모형개발>, 2000.2
13. 남궁성, 윤일수, 조범철, <TCS 자료를 이용한 고속도로 통행시간예측>, 2000
14. 김남선, 이승환, 오영태, “신경망을 이용한 고속도로 여행시간 추정 및 예측모형 개발,” 대한교통학회지 제18권 , 제1호 , 2000
15. Mohinder s. Grewal, Angus P. Andrews, <Kalman Filtering Theory and Practice>, 1993
16. Hirofumi Ohnishi, Keiri Owada, Takahiro Kawasaki, Takashi Uki, “An Optimum Route Calculation Algorithm for ITS Applications”, 1997
17. Darryn Paterson, Geoff Rose, “Dynamic Travel Time Estimation on Instrumented Freeways,” ITS World Congress 1999
18. Simon Haykin, <Kalman Filtering and Neural Networks> , John Wiley &Son, INC 2001
19. “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙,” 국토해양부령 제101호, 2009.2.19
20. 한국철도기술연구원, “신에너지 바이모달 수송시스템 개발 연구보고서(4차년도),” 2007년 5월.
21. 한국철도기술연구원, “신에너지 바이모달 수송시스템 개발 연구보고서(5차년도),” 2008년 7월.
22. 한국철도기술연구원, “신에너지 바이모달 수송시스템 개발 연구보고서(6차년도),” 2009년 5월.
23. 한국철도기술연구원, “신에너지 바이모달 수송시스템 개발 연구보고서(7차년도),” 2007년 8월.
24. 배원섭, <NEW 자동차공학>, 동명사, 1988년
25. Thomas D. Gillespie, <Fundamentals of Vehicle Dynamics>, Society of Automotive Engineers, Inc., 1992.
26. <전기철도공학>, 도시출판 신기술, 2000
27. 김이중, <송전선로설계지침>, 도서출판 전력기술, 1999
28. “도시철도건설규칙” 국토해양부령 제4호, 2008년 3월 개정
29. “궤도시설의 건설에 관한 설비기준” 국토해양부 고시 제2010-418호, 2010년 6월 개정
30. “삭도·궤도 건설에 관한 세부기준” 국토해양부 고시 제2009-927호, 2009년 9월 개정
31. (주)신승설계 (2006), “소형궤도열차시스템 Pilot Plant(시험선로) 계획수립”, 최종보고서
32. (주)진우엔지니어링 (2008), “On demand 도시철도시스템 구조물 개념설계 및 추정 건설비 산정 연구 용역”, 최종보고서
33. 지하철 역사의 외기처리 설비, 공기청정기술 2001년6월, 조율연
34. “도시철도 정거장 및 환승 편의시설 보완설계 지침” 건교부 고시 2002년 11월
35. “도시철도 규칙” 건설교통부령 412호, 2004년 12월 개정
36. “철도시설 안전기준에 관한 규칙” 건설교통부령 제476호
37. 최희종, 박종천, 윤현식, 전호환, 강대환(2006), “병렬계산기법을 이용한 선체주위 점성유동장의 LES해석”, 한국해양공학학회지, 제20권 제4호, pp.76-82
38. 도시계획법 시행령(지구상세계획 지침) 제 19조 8항
39. 서울시정개발연구원,『2002년 서울시 가구통행실태조사』(2002)
40. 서울시정개발연구원,『서울시 장래교통수요예측 및 대응방안 연구』(2004)
41. Kevin Mcgrattan, Bryan Klein, Simo Hostikka, Jason Floyd(2007), Fire Dynamics

Simulation(Version5) User's Guide, NIST
42. McGrattan, Kevin, 2006, "Fire Dynamics Simulator(Version 4) Technical Reference Guide", NIST, March
43. 소방방재청, 화재안전기준(NFSC)
44. 『도로・철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정・보완 연구(제5판)』
45. 조율연, 도시철도기술자료집 기계설비편, 서울시 지하철 건설본부, 2004
46. 신정열, "광섬유센서 및 USN 기술의 지하역사 구조건전성 감시시스템 적용방안 연구", 2008년도 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2008
47. 峯岸 邦行 외, "構造物의 損傷 檢知", RRR Report, 2007
48. 이진선・김경태, "소형궤도차량(PRT)의 국내 적용시 정책적 검토 사항 연구", 한국철도학회논문집 제12권 제4호, 2009
49. 소형궤도열차시스템의 국내 적용방안 연구(2006)
50. 녹색철도 중심의 교통체계 구축을 위한 PRT활성화 방안(2009)
51. 소형궤도차(PRT) 가이드웨이의 수송용량에 대한 고찰(2006)
52. PRT의 기본개념 및 현황(2009)
53. 소형궤도열차의 현황 및 가능성(2003)
54. PRT 기술개발현황 및 궤도기술연구(2009)
55. 소형궤도열차(PRT)의 국내적용성 검토(2002,2006)
56. PRT 수요추정모형 및 적용가능지역(2008)
57. 승객여정선택형 대중교통수단(PRT) 기술개발(활용방안 검토)(2009)
58. 한국교통연구원, 2007년 국가교통DB구축사업(2008.4)
59. 유정복, 박상우, 채찬들, "초고층 수직도시에 적합한 신교통체계 개발방향 연구", 한국교통연구원, 2010.
60. The taxi 2000 personal rapid transit system(1988)
61. The Viability of Personal Rapid Transit in Virginia: Update(2008)
62. A Personal Rapid Transit/Airport Automated People Mover Comparison(2007)
63. Benefits and Costs of a Personal Rapid Transit (PRT) system in Stockholm Personal Rapid Transit for Airport Applications(2005)
64. Personal Rapid Transit for Airport Applications(2005)
65. Skyweb Express Feasibility Study RESULTS SUMMARY(2007)
66. Viability of Personal Rapid Transit In New Jersey FINAL REPORT(2007)
67. Personal Rapid Transit Strategies for advancing the State of the industry(2007)

■ Website

1. http://www.ultraprt.com
2. http://www.vectusprt.com/KOREA/index.php (벡터스)
3. http://www.prtskycar.co.kr/ (스카이카)
4. http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/cybercab.htm (사이버캡)
5. http://www.ultraprt.com/prt/faq (히드로공항)
6. http://www.heathrowairport.com/portal/page/Heathrow (히드로공항)
7. http://www.prtconsulting.com/blog/index.php/tag/heathrow/ (히드로공항)
8. http://www.besterfield.com/projects/prt/prt.htm (히드로공항)
9. http://www.2getthere.eu/Personal_Transit (네덜란드)
10. http://www.2getthere.eu/Personal_Transit/Projects/Masdar_City_PRT/ (마스다르)
11. http://www.masdar.ae (마스다르)
12. http://www.treehugger.com/files/2009/02/masdar-prt-interview.php (마스다르)
13. http://web.presby.edu/~jtbell/transit/Morgantown/ (Mogantown GRT)
14. http://stst.seoul.go.kr(서울통계포털)

부 록

부록 1 : 「An Intelligent Transportation Network System」

1. 서론

저서 “유럽과 북미의 도시교통 위기 (The Urban Transport Crisis in Europe and North America)”에서, 기존의 교통을 검토한 John Pucher와 Christian Lefèvre는 다음과 같은 냉혹한 평가와 결론을 내렸다: “도시교통이나 도시의 경우 교통정체 증가, 오염 증가, 그리고 접근 가능성 감소 등으로 인해 미래는 황량할 것이다.

주요 자동차 및 석유회사 경영자들이 승인한, 세계지속가능발전기업협의회 (www.wbcsd.org)에 의한 보고서 “이동수단 2030: 지속가능성 도전에 대한 회의 (Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability, 2004)”에서, 저자들은 향후 상태에 대해 냉혹하게 예측하였으나 해결에 대한 실제 희망은 제시되지 못하였다.

2006년 11월/12월호 혁신보고서(Innovation Briefs)에서, C. Kenneth Orski는 2006년도 교통연구원 (Transportation Research Board), Allan Pisarski의 보고서 “미국 내 통근 (Commuting in America)”에 관해 보고하고 있으며, 이는 “직장까지 1인 승차 통근이 증가하는 추세다,” “1980년 이래 카 풀 점유율이 7.5%나 감소했다,” 대중교통의 비율이 겨우 4.6%이다, “직장까지 도보로 출퇴근하는 추세가 급감했다……”, 보행중심의 주변환경을 바라는 승객들에 대한 냉혹한 현실의 확인”이라는 결론을 내리고 있다. Orski는 “인구가 분산되고 있을 뿐 아니라, 기존의 교외를 넘어서, 점점 더 멀리 분산되고 있다”고 지속적으로 보고하였다. 이는 운전 증가와 더 장거리 운전을 의미한다.

1989년에 북동일리노이주 지역교통당국 (RTA: Regional Transportation Authority) 의장이 참석한 점심식사 중에 “우리는 고속도로와 기존의 철도시스템의 추가 구축만으로는 시카고 지역 내 교통문제를 해결할 수 없다. 새로운 아이디어를 가진 수재가 필요하다”는 점이 합의되었다. 일리노이주 의회는 새로 창설한 RTA에게 “새로운 대중교통 기술 개발 실험을 장려해야 한다”는 의무를 부여했다.

이들이 원한 신규 아이디어는 높은 수송능력의 PRT(Personal Rapid Transit)라고 불려졌다. 1968년과 1972년 사이에 Aerospace Corporation에서 로켓 과학자가 이를 개발했다[1]. 현재 우리는 신규 시스템 ITNS를 하나의 교통 유형이라기보다는 하나의 자동화된 고속도로의 유형이라고 부르며 이를 구별한다; 하지만, 일반 명칭인 “PRT”는 자동화된

교통 문화 속에 깊숙이 포함되어 있다. 2006년 3월의 유럽연합 보고서는 다음과 같이 결론을 내렸다: “전반적으로 평가해 볼 때 EU는 혁신적 PRT 교통개념에 대해 방대한 잠재력이 있다”[2].

1990년 4월에 RTA는 한 쌍의 150만$ 규모의 단계 I PRT 설계 연구 제안 요청서를 발행했다. 2개의 기업이 선정되었으며, 연구 완료 후, RTA는 4천만 $의 단계 II PRT 설계 및 시험 프로그램을 위해 Aerospace 시스템의 개정판인 필자의 설계를 선택하였다. 불행하게도, 기본개념상의 결함 때문이 아니라, 수석 엔지니어들과 그 매니저들이 이에 대해 깊이 이해하지 못했기 때문에, 프로그램이 직접적으로 성공하지는 못했다. 하지만, 이로 인해 세계 곳곳에서 많은 발명가들과 입안자들이 PRT를 조사하기 시작했기 때문에 프로그램은 간접적으로는 매우 성공적이었다. 오늘날엔 ITNS가 많은 도시문제를 해결할 것이란 증거가 점점 더 많아지고 있다.

2. 다뤄야 할 문제

- 교통체증 증가
- 석유를 사용하는 교통. “저유가 시대는 끝났다”
- 세계 기후변화
- 자동차 사고에서 죽거나 부상당한 많은 승객들
- 운전할 수 없는, 운전해선 안 되는, 또는 운전하지 않는 것이 더 나은 승객들
- 자동차에 대한 대안의 심각한 부재
- 도로와 주차장용 부지의 과다한 사용
- 교통에 사용된 과다한 에너지
- 교통체증으로 인한 운전자의 짜증 (road rage)
- 테러
- 과도한 sprawl 현상(무분별한 도시의 확장)

3. 신규 시스템의 요구사항

이런 문제를 다루기 위해, 새로운 교통시스템은 반드시 다음 사항을 포함해야 한다.

- 요금과 기타 수입으로 모든 비용을 벌충하도록 비용을 낮춰야 한다.
- 재생가능 에너지원의 이용이 가능하여 운행 효율이 매우 높아야 한다.
- 도시 자동차 교통과는 시간 경쟁력이 있어야 한다.

- 대기오염과 소음이 낮아야 한다.
- 수송능력이 높아야 한다.
- 구조물로 인한 시야제한을 최소화해야 한다.
- 자재를 적게 사용해야 한다.
- 에너지를 적게 사용해야 한다.
- 부지를 적게 사용해야 한다.
- 안전해야 한다.
- 신뢰성이 있어야 한다.
- 운행이 쾌적해야 한다.
- 제한 없이 확장될 수 있어야 한다.
- 많은 승객들을 매료시킬 수 있어야 한다.
- 모든 승객이 언제나 이용할 수 있어야 한다.
- 테러리스트들에게 매력이 없는 대상이어야 한다.
- 미국 장애인 법 (Americans with Disabilities Act)을 준수해야 한다.
- 극심한 강풍을 제외하고, 모든 종류의 날씨에서 운행될 수 있어야 한다.

붙임 A에서 이들과 기타 요구사항을 논의한다.

4. 신규 시스템의 기원

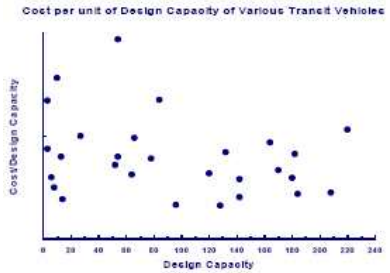
거리에 하나이상의 교통 시스템을 설치하여 교통체증과 운행시간, 교통사고를 줄이기는 거의 불가능할 것이다 - 새로운 시스템은 반드시 고가(高架)나 지하라야 한다. 지하의 경우 건설비용이 매우 크므로 고가 시스템이 권장된다. 보스턴, 뉴욕, 필라델피아, 클리블랜드, 그리고 시카고에 전용 가이드웨이 철도시스템을 건설하면서 아주 오래 전 고가 시스템의 필요성을 이해했다. 그래도 고가 시스템의 규모와 비용은 더욱 감소시켜야 한다. 그림 부록.1.1에 예시된 바와 같이, 소수의 대형 차량들보다 자동제어로 운행되는 다수의 소형 차량들을 이용하여 수송량을 분산시키고 차량을 경량화 할 경우 가이드웨이의 단위 길이당 중량은 최소 1/20 수준으로 감소될 수 있다. 이런 엄청난 차이가 PRT라 하는 시스템의 비용이 낮은 가장 큰 이유이다.

규모의 경제의 장점은 대형 차량을 이용할 경우 더욱 낮은 비용으로 동일한 승객과 화물을 수송할 수 있다는 것이다. 하지만, 그림 부록.1.2에 있는 데이터를 조사하면 그렇지 않다는 점이 나타난다. 물가상승을 고려하여 비용을 표준화한 그림 부록.1.2의 각각의

점들은 교통시스템을 나타낸다. 많이 분산되어 있긴 하지만, 가장 적합한 추세선은 수평에 가깝다는 것을 알 수 있다. 즉, 수송능력 단위당 차량의 비용은 수송능력과 상관없다.



<그림 부록.1.1> 가이드웨이 중량과 규모



<그림 부록.1.2> 단위 수송능력당 차량 비용

시스템의 수송능력을 결정하는 데는 평균 속도가 중요하다. 평균 속도가 두 배 이상 증가한다면, 일정한 수의 승객을 이동시키기 위해 필요한 차량의 수는 절반 이하로 줄어들 것이다. 모든 이동이 논스톱이 되도록 시스템을 배열하여 다른 비용을 증가시키지 않고 평균 속도가 최대로 증가되도록 한다. 그림 부록.1.3에 나타난 바와 같이 모든 역이 메인트랙을 벗어나 우회 가이드웨이에 있는 경우에 운행은 논스톱이 될 수 있다.

5. 오프라인 역이 핵심 돌파구다

그림 부록.1.3은 1991년 시카고 PRT 설계 연구 중에 제작된 모델 PRT 시스템의 일부분이다. 이는 가장 단순한 유형의 오프라인 역을 나타내며, 두 줄로 총 15개의 주차장소(berth)가 존재하는 하나의 우회 가이드웨이를 포함하고 있다. 많은 저자들이 역의 수송

능력(=시간당 차량의 수)를 주차장소의 수의 함수로 추정하였다. [1], [3].



<그림 부록.1.3> 오프라인 역

오프라인 역의 이점은:

- 오프라인 역은 평균 속도를 최대화 하므로 차량군집의 규모와 비용을 최소화 한다. 이는 제 4절에서 논의된다.

- 오프라인 역은 소형 차량을 많이 처리할 수 있다. 이것이 어떻게 그렇게 될 수 있는지를 알려면, 차를 몰고 고속도로까지 간다고 생각하라. 고속도로 차선에서 정차하고, 한 승객이 나간 후 또 다른 승객이 들어가도록 하는 것을 상상하라. 안전하게 이렇게 하려면 그 다음 차량이 얼마나 뒤처져야 할까? 대답은 몇 분 뒤다. 고속도로에서 자동차는 몇 초 떨어져서, 간혹 1초 미만으로 떨어져서 이동하는 반면, 노면전차는 전형적으로 6-10분 떨어져서 운행하며, 전용 가이드웨이 철도 시스템은 가능한 한 거의 2분 후에 열차를 운행할 수 있다. 제 8 절에서 실례가 제공된다.

- 따라서 경차크기의 차량이 있는 오프라인 역의 시스템은 수송능력이 최소한 고속도로 차선과 동등하다. 그런 수송능력이나 최대 처리량으로 인해 소형 가이드웨이를 사용할 수 있으며, 가이드웨이 비용과 가이드웨이로 인한 시각제한이 최소화된다.

- 오프라인 역은 논스톱으로 운행이 가능하며, 이는 운행시간을 최소화하고 운행의 매력을 증대시킨다.

- 논스톱 운행을 실용적으로 이용한다는 것은 다음 승객의 대기시간이 짧다는 것을

의미한다. 따라서 혼자서 아니면 소 그룹으로 운행이 가능하다.

- 오프라인 역은 차량을 사용하지 않는 경우에는 차량이 계속 노선을 운행하는 대신 역에 대기할 수 있도록 한다. 따라서, 야간에 운행을 중지할 필요가 없다 - 서비스는 주간이나 야간에 언제라도 이용할 수 있다. 게다가, 정해진 시간에 운행하며 정해진 모든 역에 정차하는 서비스에 비해, 1일당 좌석당 이동거리는 2 배 이상 감소하며, 이는 운영비를 거의 동일한 금액만큼 감소시킨다.

- 오프라인 역의 경우, 한산한 시간에는 전혀 대기가 없으며, 가장 번잡한 기간 중엔 빈 차량이 자동적으로 필요한 역까지 이동한다. 컴퓨터 시뮬레이션상 가장 번잡한 기간의 대기시간은 평균적으로 1~ 2분 정도일 것이다.

- 기존의 철도시스템에 비하여 역 사이의 간격은 감소된다. 열차가 매 역마다 정지하는 기존의 철도의 경우, 역 간격이 가까우면 가까울수록, 평균 속도는 더 느리다. 따라서 승객들이 철도시스템에 더 많이 탑승하도록 하고, 일정수준이상의 평균속도를 위하여 역간 거리는 증가되지만, 이 경우 목적지에 대한 접근성이 감소되어 이용자수 (ridership)가 감소된다. 속도와 접근 사이에는 트레이드오프 (tradeoff: 등가교환/상충)가 있다 - 한쪽을 위해선 다른 쪽을 양보해야 한다. 하지만 오프라인 역을 사용하는 시스템은 높은 평균 속도와 목적지에 대한 높은 접근성을 모두 제공할 수 있다.

- 기존의 철도에서는 모든 역이 최장 열차만큼 길어야 하지만, 오프라인 역은 승객의 수요에 맞게 주차장소(berth)의 수를 조절하여 역의 크기가 가변적이다.

오프라인 열차의 이런 이익 덕분에 비용은 실질적으로 더 낮아지고 이용자수는 더 많아진다.

6. ITNS의 속성

제3절의 요구사항을 충족시킬 시스템에는 다음 사항이 포함될 것이다.

- 오프라인 역.

- 최소 크기와 중량의 차량.
- 어플리케이션과 네트워크 내 위치에 따라 변할 수 있는, 적절한 속도.
- 완전한 자동 제어.
- 시스템을 무한히 확장할 수 있는 계층적, 모듈방식, 비동기 제어.
- 의존가능성과 안전성을 높이기 위한 이중 양방향 컴퓨터(메인 컴퓨터와 차상컴퓨터, 지상컴퓨터).
- 정확한, 이중 위치와 속도 센서. 오늘날의 센서는 필요한 것보다 훨씬 더 정확하다.
- 쾌적한 승차를 위한 매끈한 선로.
- 가이드웨이의 단면적과 중량을 최소화하기 위해 고무타이어를 단 바퀴.
- 선형 유도 모터에 의한 전천후 추진력과 제동.
- 네트워크에서 환승하지 않고 이동하기 위한 차상조향장치(선로조작에 의한 선로변경이 아니다)
- 소형, 경량의 고가 가이드웨이.
- 최소한 90 피트 (27 m)의 가이드웨이 지지대 간격.
- 수요가 발생한 경우에만 차량 이동.
- 수요가 발생한 경우, 역에 필요한 차량 수를 채우기 위해 빈 차량은 자동적으로 진로를 재설정한다.
- 혼자서 혹은 지인과 함께하는 논스톱 운행.
- 이중 지상 전원에서 나오는 추진력.
- 우수한 조명의 역, CCTV 로 인한 치안유지.
- 유지보수의 용이성.
- 미국장애인법의 완전 준수.

7. 최적 구성

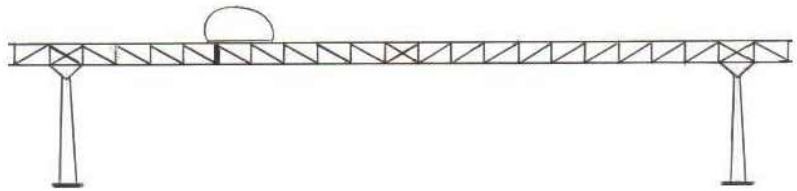
1970년대에 PRT 가이드웨이 설계를 위한 요구사항이 발표되었다. 이들은 붙임 A에 제공되어 있다. PRT에 관한 3개 국제회의 의장으로서, 필자는 지구 상의 무인운전과 관련된 모든 기업과 연구소를 방문하여 개발자와 이야기 할 수 있는 특권을 받았고, 10년 이상 각 시스템의 장단점을 찾아냈다. 그림 부록.1.4에 열거된 요구사항이 가장 중요하며, 구조를 분석 [5]하여, 150 mph의 옆바람과 앞차와 바싹 붙어 일렬로 운행하는 차량의 최대 수직 하중을 고려하여, 필자는 최소 중량의 가이드웨이는 선로의 폭보다 선로의 길이가 약간 길어야 한다는 Aerospac e Corporation의 결론을 확인했다. 차량이 와이어에

매달려 운행하는 방식(현수식)과 가이드웨이 위를 이동하는 방식(가좌식)을 비교했고 가좌식이 우수한 열 가지 이유를 발견했다 [6].



<그림 부록.1.4> 최적 구성

가좌식은 가이드웨이로 인한 시야제한이 최소이다. 그림 부록.1.5에 나타난 바와 같이 90 피트간격으로 지지되는 트러스(truss) 구조라면 중량은 가장 적다. 지지대를 기준으로 조립식으로 쉽게 구조물을 확장할 수 있다. 그리고 높은 강도의 경량 트러스 구조물의 고유진동수 (natural frequency)는 최고이므로 구조물 위를 최고속도로 운행하는 경우에도 승객은 불쾌함을 느끼질 못한다. 이러한 구조는 또한 지진에서 생기는 수평 가속에 대한 저항력이 가장 강하다. 로봇용접을 이용함으로써, 제조, 운송 및 설치에 드는 비용이 가장 적다. [5]에 보고된 분석을 통해 모든 요구사항은 충족시키기 위해 필요한 요구사항을 만들었다. 필자는 PRT 프로그램이 사장되는 경우엔 언제든지 가이드웨이 설계 문제에서부터 시작하여 주요 이유를 수십 년 동안 밝혀냈다. 실제로 필자는 2009년도 APM 회의에 제출한 논문 [30]에서 그 문제를 다루었다. 그 논문에서 필자는 실패한 PRT 가이드웨이의 경우 제시된 것보다 훨씬 고도의 시스템 엔지니어링이 필요하다는 것을 지적했다. 논문에는 위에 언급한 요구사항과 19가지 설계 기준도 있으며, 이는 붙임 B에 포함되어 있다.



<그림 부록.1.5> 저 중량, 저비용 가이드웨이

그림 부록.1.4와 같이, 가이드웨이는 덮개에 의하여 보호된다. 가이드웨이 상부의 겨우 4인치의 홈을 통하여 운행되며 가이드웨이 하부의 6인치의 홈을 통하여 차량은 눈, 얼음 등의 잔해가 방출한다. 차량 하부에 제설기가 부착될 수 있도록 시스템을 설계하고 시험하였다. 주행 방향의 눈이나 기타 잔해가 한 쌍의 강철 앵글 (steel-angle)의 슬롯을 통해 아래로 떨어지도록 제설기 각도를 정해야 한다. 덮개로 보호 하면 시스템은 모든 날씨에서 운행될 수 있다. 덮개는 대기저항력(air drag), 전력레일의 얼음 누적, 가이드웨이의 한 측면에 태양이 비칠 때 상이한 열 팽창을 방지하기 위함이다. 덮개는 전자기, 소음, 태양의 차폐장치로도 사용되며 유지보수가 필요할 경우 하부에서의 접근을 허락해야 한다. 외관은 현지 지역사회의 요구를 수용하여 채색될 수 있도록 복합재질을 사용한다. 덮개를 이용한 보호방식을 이용하면 시스템은 가이드웨이 설계 요구사항의 대부분을 충족시킬 수 있다. 전자기를 차폐하기 위해 내부에 알루미늄 층이 포함된 복합자재로 덮개를 제조할 것이다.

미국장애인법은 휠체어가 진입하고 보호자가 실내와 마주볼 수 있도록 차량이 충분히 넓어야 한다고 요구한다. 그런 차량은 성인 3명이 나란히 착석하고, 작은 승객을 위해 전면에 접이식 좌석 한 쌍을 놓아 5인 차량으로 만들 만큼 충분히 넓다. 그런 크기는 승객 1명과 자전거, 2명과 함께 대량의 수하물, 유모차 (baby carriage)와 2명의 성인 등을 수용할 수 있다 [7].

가이드웨이 위를 달리는 차량에 대한 실제 요구사항을 조사한 후 바퀴를 사용하면 가이드웨이의 단면적과 비용은 최저가 된다는 점을 알았다. 우리는 고압 공기 타이어 또는 완충특성이 동일한 새로운 무공기 타이어를 사용할 것이다. 우리 타이어는 포장도로상의 구멍과 장애물로부터 자유롭기 때문에 훨씬 더 딱딱할 수 있으며 자동차 타이어보다 도로 저항이 훨씬 더 낮을 수 있다. 매우 신뢰할 수 있는 차축과 베어링 제조 기술은 잘 개발되었고, 우리 타이어는 타이어를 손상시키는 태양광선으로부터 떨어진 부드러운 표면에서 가동될 것이기 때문에, 자동차 타이어보다 수명이 길다.

차량을 추진하는 방법은 많이 있다. 차량이 주행 표면의 마찰계수와 상관없이 계획된 속도로 가속 및 감속될 수 있으므로, 회전식 모터를 사용하여 추진하고 제동할 때 가능한 것보다 훨씬 더 짧은 운전간격에서 차량을 안전하게 운행할 수 있기 때문에, 우리는 선형 유도 모터 (LIMs: linear induction motors)를 선택했다. LIMs의 추가 이점은 이들에게는 움직이는 부품이 없다는 것이다.



<그림 부록.1.6> 시카고 도심지 내 어플리케이션

북쪽이 왼쪽에 있는 그림 부록.1.6은 PRT가 시카고 도심지의 어느 부분에 PRT를 설치할지를 나타낸다. PRT 시스템의 가이드웨이는 적색으로 표시되었다.

8. 제어

다수 기구들이 1960년대 이래 PRT 제어를 조사해 왔다. 필자는 ITNS에 대한 제어시스템을 개발했을 때 유용했던, PRT 제어에 관한 논문의 문헌목록을 발표했다 [4]. 제어 관련 세부 논문은 [11 -15]에 열거되어 있고 www.prtnz.com에 있는 다른 논문과 함께 찾을 수 있다. 이 논문 컬렉션에 높은 신뢰성의 안전한 짧은 운전간격을 획득하는 방법에 대한 지식을 요약하는 논문 한 편 [31]을 추가한다. ITNS 제어 하드웨어는 컴퓨터, 센서, 그리고 통신매체로 구성된다.

8.1 컴퓨터

ITNS 내에 있는 모든 컴퓨터를 이중 이중화 또는 간혹 “이중 양방향”이라 한다. 컴퓨터가 2쌍씩 존재하는 이러한 방식은 이는 컴퓨터는 시스템의 낭비처럼 보이지만 오늘날처럼 컴퓨터의 가격이 낮아진 경우 하나의 컴퓨터가 고장 날 경우 다른 컴퓨터가 기능을 수행할 수 있기에 신뢰적이며 불합리한 가격이 아니다. 각 컴퓨터의 출력을 초당 10번씩 비교한 후 값이 다르면 다른 컴퓨터가 오류가 발생한 컴퓨터를 제어하게 한다. 이런 방법으로 차량은 운행을 마칠 수 있고 그 후 유지보수 작업장으로 향한다. 이런 배열의 경

우, 심각한 사고가 연쇄적으로 발생할 확률은 극히 낮다[31]. AGRT에 관한 연구 작업 중에 개발된 Boeing 논문에서 우리가 사용한 방법론을 획득했다 [4].

차량을 제어하려면 세 가지 유형의 컴퓨터가 필요하다: 차상 컴퓨터, 그리고 중앙 컴퓨터. 구역 컨트롤러라 하는 지상 컴퓨터(가이드웨이 각 구간을 관리한다.)가 그 것이다. 가이드웨이는 역 구역, 합류 구역, 분기 구역 및 선로 구역으로 구분 될 수 있다. 구역 컨트롤러는 필요에 따라 특정 차량에 대한 특정 조작을 명령하며 차량 컴퓨터는 이런 명령을 수행한다. 여러 연구기관이 차량 조작을 위해 필요한 수학식을 찾아서 완성시켰다. 이렇게 조작하면 속도 변경 시(ex: 역 구역에서 선로구역으로 진입할 경우) 차량이 특정 거리를 미끄러지듯 부드럽게 달리고, 일정 거리 이내에 정지할 수 있다. 오늘날의 고성능(high-gain) 컨트롤러와 선형 유도 모터를 이용함으로써, 더욱 정밀하게 차량 위치를 제어할 수 있다 [33].

각 구역 컨트롤러는 영역 내에서 선로 속도 신호를 제공한다. 고장 차량 뒤에 있는 차량의 속도 신호를 제거하면 고장 차량은 속도를 줄이거나 서행한다 - 안전할 만큼 충분히 서행하지만 승객이 곧 역에 진입할 것이라고 확신할 만큼 충분히 빠르다. 차량이 가이드웨이 위의 조작-명령 지점에 도달하면, 구역 컨트롤러는 차량에 대해 적절한 명령을 전송하고, 차량이 시간 별 위치와 속도를 따르도록 한다. 구역 컨트롤러는 필요하다면 동일한 방법으로 차량이 시간 별로 준수해야 하는 위치와 속도를 계산한 후 구역 내 차량이 이를 준수하는 지 판단한다. 인접 구역 컨트롤러는 정보를 서로 교환한다.

중앙 컴퓨터는 빈 차량을 최적으로 재활용하고, 특정 상태에서 차량이 부족하거나 교통체증이 발생을 방지하며 필요한 정보를 저장한다. 데이터 전송속도 (data rate), 컴퓨터 속도, 그리고 필요한 메모리는 오늘날의 컴퓨터 능력으로 충분하다.

8.2 차상 위치와 속도 감지

네 바퀴 각각의 주 베어링에 배치된 디지털 부호기가 각 차량의 차상에서 각 차량의 위치와 속도를 측정한다. 좌우 바퀴의 출력을 평균 내어 곡선구간에서 이용한다. 앞과 뒷 바퀴를 기준으로 하나만 이용하며 이용되지 않는 바퀴의 장치는 여분용이다. 이러한 부호기들은 1)회전당 최소한 4096개의 펄스를 등록하거나, 2)336.6 mm (13.25") OD (외경) 타이어와 함께 펄스당 약 0.26 mm (0.010")의 OD 타이어를 같이 사용할 것이다. 이 방법을 통하여 정확한 속도를 측정할 수 있다는 것이 참고문헌 [32]의 실험결과를 통해 증명된다. 하지만, 가정했던 OD에 예컨대 1%만큼 오차가 있는 경우, 거리 측정 오차는 1%다. 따라서, 제 8.3 절에서 논의한 바와 같이, 각 차량이 역을 떠날 때 고정 자석 마커로 이를 교정할 것이다. 이런 방법으로, 25 mm (1인치) 미만의 정확도까지 각 차량의 위치를 알게 된다.

8.3 지상 위치와 속도 감지

적합하게 배치된 한 쌍의 지상 마커가 차상 측정과는 별도로 지상 구역 컨트롤러를 위해 각 차량의 위치와 속도를 측정한다. 차량이 첫 번째 마커에 도착하는 경우, 해당 지상 컴퓨터에 펄스를 발송하며, 지상 컴퓨터는 그 당시의 차량 위치를 탐지한다. 차량이 두 번째 마커에 도착하는 경우 마커 사이의 시간 간격을 측정하여 차량의 속도를 결정한다. 10억 분의 몇 초까지 정확하게 시간 간격을 측정할 수 있으며, 이는 속도를 백만 분의 1 미만까지 측정한다는 것을 의미하며, 요구되는 사항과 비교하여 훨씬 더 우수하다.

8.4 독립적인 백업 비상제어

설명한 이중 양방향 시스템의 신뢰성이 극히 높고 시스템을 시뮬레이터로 무작위로 데이터를 입력하여 수천만 시간 동안 오류가 없다는 것을 확인하긴 했지만, 미지의 위험 상황이 발생할 수 있다는 점을 가정해야 한다. 따라서 수중음파 탐지기 시스템처럼 차량 간 간격을 측정하고 별도의 비상제동이 가능한 백업 제어시스템이 필요하다. 이는 차량 진행과 완전하게 독립적이다. 이는 주차용 브레이크이기도 하며 차량이 정지하는 매 시간마다 가동되고 점검된다. 이런 특징을 추가하면 불안전한 사고가 연쇄적으로 발생하는 것을 방지할 수 있다.

8.5 통신

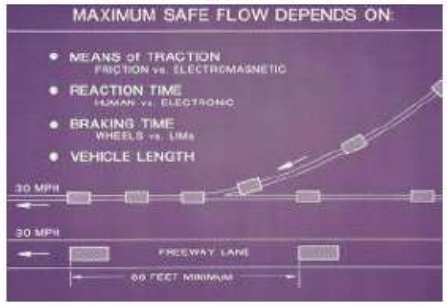
가이드웨이 내부에 배치된 누설케이블 (leaky cable)로부터 정보를 발신 및 수신할 수 있는 송신기와 수신기가 각 차량에 장착된다. GPS는 해킹에 영향을 받기 쉽고 태양 폭풍에 의해 영향을 받을 것이기 때문에, GPS보다 이런 방법을 선호한다 [29]. 구역 컨트롤러도 유사한 방법으로 누설케이블과 유사하게 통신하며, 이는 시장에서 구입할 수 있다. 이런 유형의 통신은 안전하며 해커가 간섭할 수 없다.

8.6 최첨단 기술을 이용하는 현대식 안전필수, 실시간 제어시스템

오늘날, 컴퓨터는 항공모함 갑판위에 비행기를 일상적으로 착륙시킨다. 우리 컴퓨터는 초당 200회 속도와 위치에 반응하며 이를 보정한다. 위치와 속도를 측정하기 위해 우리가 사용하는 기구는 필요한 것보다 훨씬 더 정확하다. 지상 구역 컨트롤러는 각 차량의 동작을 매초마다 10회 모니터 한다. 크기나 구성을 불문하고 네트워크 내 차량의 수를 모두 제어하기 위해 소스코드를 개발했다. 우리 차량과 모터에는 움직이는 부품 (moving parts)이 거의 없다. 그리고 차상 선로전환기기를 이용한다(선로전환기기가 차량과 가이드웨이중 어느 곳에 설치된 경우 유지보수와 시스템 제작이 쉬울까?). 모터, 모터 컨트롤러, 센서, 그리고 전원 시스템은 이중이며, 이는 연속적으로 고장이 발생하지 않는 한 운행이 안전한 것을 의미한다. 언급한 바와 같이, 우리 컴퓨터는 이중 양방향이며, 이는 차상 및 지상 "컴퓨터" 각각은 실제 4대의 컴퓨터라는 것을 의미한다(여분이 존재한다). 차량 내 컴퓨터 1대가 고장 나는 경우, 모두 몇 분 이내에, 차량은 정상으로 작동하는 컴퓨터에 따라 목적지까지 계속 가서 승객을 하차시킨 후 빈 채로 유지보수 작업장까지 간다. 그럼에도 불구하고 가이드웨이 위에서 차량이 고장 나 정지한 경우 후위의 차량이 고장차량을 밀어서 다음 역까지 이동시키다.

오늘날 미국 상공에는 80,000대 정도의 항공기가 항상 운항 중이다. 거의 항상 각 항공기 추적용 컴퓨터를 이용하여 수십 대의 항공기를 계속 추적하며 다수의 공항에서 항공교통 제어시스템의 자동제어 하에서 이를 운용한다. 이는 PRT에 필요한 것보다 훨씬 더 정교한 운항이며 고장 나면 항공기와 탑승객이 모두 파손되거나 죽거나 사망하는 시스템 내에서 매일 운항되고 있다. 결론은 현재 최첨단 기술을 이용하면 PRT 차량을 충분히 안전하고 신뢰성 있게 제어할 수 있다는 것이다.

9. 신뢰성 있고 안전하게 최대 처리량을 달성하기 위해 필요한 시스템 특징



<그림 부록.1.7> 최대로 안전한 운행 방법

1. 전천후 운행: 선형 유도 모터 (LIMs)는 주행 표면의 미끄러움과는 상관없이 전천후로 가속하고 제동한다.
2. 빠른 반응시간: LIMs는 몇 밀리세컨드 이내에 반응한다. 승객은 0.3과 1.7초 사이에 반응한다. 차상 컴퓨터는 초당 200회 위치와 속도를 업데이트한다.
3. 빠른 제동: LIMs는 몇 밀리세컨드이내에 제동이 가능하다. 하지만 기계식의 경우 자동운전이라도 최소 0.5초의 제동 시간이 요구된다.
4. 차량 길이: 전형적인 자동차 길이는 15-16 피트다. ITNS 차량은 길이가 불과 9 피트에 불과하다.

이런 특징들은 1초 미만의 운행간격에서도 안전운행을 할 수 있도록 하며, 최소한 3개 고속도로 차선의 최대 처리량 [11], 즉, 시간당 6000 차량을 처리할 수 있다. 시카고에 대한 단계 I PRT 설계 연구 중에, 팀에게 시스템 운영이 안전하고 신뢰성이 있다고 확신시키기 위해, 집중적 고장 모드에서의 영향[12], 위험원인, 결함 트리, 그리고 대피와 구조에 대한 분석을 하였다. 그 결과 움직임이 거의 없는 부품, 차상 조향장치(=선로전환기기), 이중 양방향 컴퓨터의 사용이 권장되었다[13].

이중 전원, 결함에 내성이 있는 소프트웨어 및 전용 가이드웨이를 이용한 연구 결과 1만 시간의 운행에서 약 3 인시(person-hours) 이상의 지연은 없을 것을 알게 되었다[14]. 최소 수명주기 비용으로 시스템 의존가능성에 관한 요구사항을 충족시키는 시스템의 구성요소 고장에 대한 평균 시간 계산 방법 [15]을 개발했으며 설계 과정 중에 사용한 적이 있다.

10. 고성능 소형차량의 가능성

노면 전차나 소위 "경전철 (light rail)" 시스템을 생각해봐라. 이는 최소한 6분의 시간간격을 요구한다. 새로운 경전철의 차량은 최대 200명이 탑승할 수 있고 2량의 경우 시스템은 매 6분마다 최대 400명을 수송할 수 있다. 고성능 PRT 또는 ITNS 시스템은 0.5초의 시간간격으로 차량당 5명을 수송하는 경우 6분 동안 3600명을 수송할 수 있으며 이는 경전철 수송량의 9배이다. 각각의 시스템들이 만원으로 운전되기는 실제로 거의 불가능하기에 실제 비교는 특정 시스템에 관한 데이터에 따라 다르다. 참고문헌 [8]에서 ITNS 선로와 역의 처리량 잠재력에 대해 포괄적으로 논의한다.

1973년에 Urban Mass Transportation의 Frank Herringer는 의회에서 "고성능 PRT는 고속철도 시스템만큼 많은 여객들을 수송하는데 드는 자본비용이 약 1/4밖에 안 된

다"고 말했다(그림 부록.1.8 참조). 소관 R&D 직원의 연구작업이 그의 발언을 증명하였다. 하지만 신규 연방 HCPRT 프로그램은 실현이 어렵다고 비난 받고 사장되었다. PRT는 기존 교통시스템을 위협할만한 사장하기엔 아까운 아이디어였다. 낮은 기술 수준에서 작업이 지속되었고, 이런 이유 때문에 PRT가 발전하는데 많은 시간이 걸렸다. 하지만 이젠 기술수준이 많이 발전하였다. Moore의 법칙 이후 36년 후인 오늘날, 단위 용량당 컴퓨터 메모리는 1,600만 배 이상 증가했다. 그 동안에, 컴퓨터 속도 역시 6백만 배 이상 증가했다. 게다가, 프로그래밍 언어와 컴퓨터 설계 도구는 현저히 성숙했다. 확실히, 오늘날의 프로그래밍 작업은 1973년에서보다 훨씬 더 간단하다.

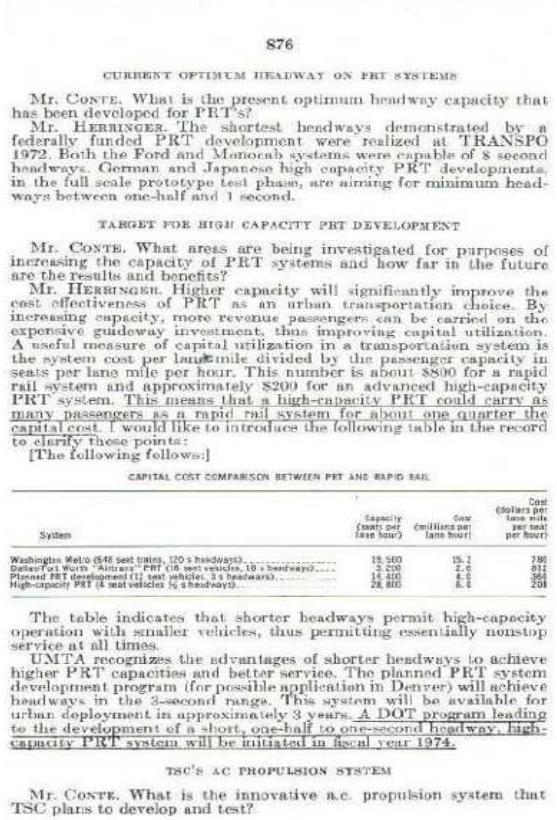


<그림 부록.1.8> 자동화 고속도로 실험

1990년대 중에 자동화 고속도로 컨소시엄은 San Diego 근처 고속도로에서 17피트짜리 Buick LeSabres 4대를 60 mph 또는 88피트/초의 속도로 운행하면서 24피트의 차량간격을 유지하는 실험을 하였다[10]. 그림 부록.1.8은 짧은 운전간격에서 주행하는 6대의 LeSabres를 나타낸다. 거리 간격 24 피트를 시간간격으로 변환하면 0.27(24/88)초이며 이는 대형 ITNS 시스템의 처리량의 거의 2배이다. 전국고속도로안전위원회(National Highway Safety Board)가 자동화 고속도로 프로그램을 모니터 했다.

따라서 1973년도 UMTA 주장은 1990년대에 확실히 입증되었다. ITNS와 관련 없는 자동화 고속도로 연관 문제 때문에, USDOT는 이 프로그램을 지속하지 않았다. 그럼에도 불구하고 그런 짧은 운전간격에 대한 시연은 ITNS에겐 주요한 의미가 있었다. 그림 부록.1.9에 있는 UMTA 청장의 1973년도 확언에도 불구하고, 자동화 교통은, 도시 내에서 시간간격은 약 2초인 소위 "벽돌담(brick-wall)"기준의 시간간격보다 더 길어야 한다는 보고가 있었다. PRT 시스템의 차량은 소형이기에 2초미만의 운전간격이 필요 없다. 따라서 벽돌담 기준의 시간간격은 PRT 개발 장애요소가 아니다. 궁극적 안전기준은 10억

마일의 운행당 부상이나 사건으로 평가되어야 한다. PRT는 그 속도가 현대식 고속철도 시스템 속도보다 사고발생 비율이 훨씬 적다는 점을 증명해야 하며, 세부적으로 연구하면 우리가 그렇게 할 수 있을 것이므로 그림 부록.1.9에 있는 UMTA 청장의 1973년도 진술을 확인할 수 있다. 따라서, 현재, 1초의 몇 분의 1초 운전간격의 안전성이 논쟁의 주제일 필요는 없다 - 이는 향후에 반드시 입증될 것이다.



S76

CURRENT OPTIMUM HEADWAY ON PRT SYSTEMS

Mr. CONTE. What is the present optimum headway capacity that has been developed for PRT's?

Mr. HERRINGER. The shortest headways demonstrated by a federally funded PRT development were realized at TRANSPO 1972. Both the Ford and Monorail systems were capable of 8 second headways. German and Japanese high capacity PRT developments, in the full scale prototype test phase, are aiming for minimum headways between one-half and 1 second.

TARGET FOR HIGH CAPACITY PRT DEVELOPMENT

Mr. CONTE. What areas are being investigated for purposes of increasing the capacity of PRT systems and how far in the future are the results and benefits?

Mr. HERRINGER. Higher capacity will significantly improve the cost effectiveness of PRT as an urban transportation choice. By increasing capacity, more revenue passengers can be carried on the expensive guideway investment, thus improving capital utilization. A useful measure of capital utilization in a transportation system is the system cost per lane-mile divided by the passenger capacity in seats per lane mile per hour. This number is about $800 for a rapid rail system and approximately $200 for an advanced high-capacity PRT system. This means that a high-capacity PRT could carry as many passengers as a rapid rail system for about one quarter the capital cost. I would like to introduce the following table in the record to clarify these points:

[The following follows:]

CAPITAL COST COMPARISON BETWEEN PRT AND RAPID RAIL

System	Capacity (seats per lane hour)	Cost (millions per lane hour)	Cost (dollars per lane mile per seat per hour)
Washington Metro (548 seat trains, 120 s headways)	18,560	15.2	780
Dallas/Fort Worth "Airtrans" PRT (16 seat vehicles, 10 s headways)	5,200	2.6	812
Planned PRT development (12 seat vehicles, 3 s headways)	14,400	4.6	364
High-capacity PRT (4 seat vehicles ½ s headways)	28,800	6.6	208

The table indicates that shorter headways permit high-capacity operation with smaller vehicles, thus permitting essentially nonstop service at all times.

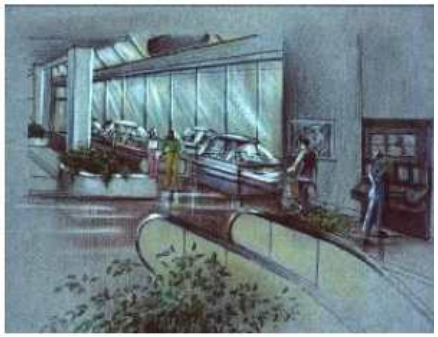
UMTA recognizes the advantages of shorter headways to achieve higher PRT capacities and better service. The planned PRT system development program (for possible application in Denver) will achieve headways in the 2-second range. This system will be available for urban deployment in approximately 3 years. A DOT program leading to the development of a short, one-half to one-second headway, high-capacity PRT system will be initiated in fiscal year 1974.

TSC'S AC PROPULSION SYSTEM

Mr. CONTE. What is the innovative a.c. propulsion system that TSC plans to develop and test?

<그림 부록.1.9> 의회보고서로부터 발췌한 페이지 [9].

11. 승객의 ITNS 사용 방법



<그림 부록.1.10> 목적지 선택후 요금 지불



<그림 부록.1.11> 목적지로 차량 이동

그림 부록.1.10에 나타난 바와 같이, 역에 도착한 고객이 아래에 콘솔이 있는 편리한 위치에서 시스템 지도를 발견한다. 고객은 장거리 전화카드와 유사한 카드를 구매했고, 이를 슬롯에 밀어 넣고서 지도상의 역을 터치하거나 콘솔에 번호를 찍어서 목적지를 선정한다. 그러면 목적지에 대한 메모리는 선불카드로 이동되고 요금이 차감된다. 그룹 승차를 장려하기 위해, 요금을 인당보다 차량당 청구하도록 권장한다. 그림 부록.1.11에 나타난 바와 같이, 그 후 고객 (개인이나 소 그룹)은 맨 앞쪽의 빈 차량 전면의 슬롯 속에 카드를 밀어 넣거나, 전자판독기 전면에 카드를 댄다. 이 행동으로 목적지에 대한 메모리는 선택된 차량의 컴퓨터로 이동하며 모터 구동식 출입문이 개방된다. 따라서 회전문이 필요 없다. 그 후 개인 또는 그룹은 차량에 들어가서, 착석하고, “출발 (Go)” 버튼을 누

른다. 그림 부록.1.12에 나타난 바와 같이, 차량은 선정된 목적지까지 논스톱으로 간다. “출발 (Go)” 버튼 외에도, 다음 역에서 차량을 정지시킬 “정지 (Stop)” 버튼과, 조작자 문의용 “비상 (Emergency)” 버튼이 있다. 예를 들면, 승객이 아플 경우, 조작자는 어떤 다른 수단보다 더 빨리 차량 진로를 가장 가까운 병원으로 재설정할 수 있다.

12. ITNS의 경쟁력



<그림 부록.1.12> 목적지까지 논스톱으로 주행

- 출발지에서 가장 가까운 역까지 짧게 걷기만 하면 된다.
- 피크 기간 중에도 대기 시간이 전형적으로 1분이나 2분이하다.
- 한산한 기간에는 대기시간이 전혀 없다.
- 주간이나 야간 어떤 시간에도 시스템을 이용할 수 있다.
- 탑승 시간이 짧고 운행 시간은 예측 가능하다.
- 혼자나 선택된 동행과 함께 탑승할 수 있다.
- 탑승자는 탑승 중에 시간을 잘 이용할 수 있다; 휴대전화를 사용할 수 있으며 문자 메시지를 보낼 수 있다.
- 더 큰 그룹이라도 둘 이상의 차량에 쉽게 분리될 수 있고 몇 초 떨어져서 목적지에 도착한다.
- 모든 승객이 착석한다.
- 도시 위에서 타고 가면 느긋하고, 쾌적하며, 경치가 좋고 즐겁다.
- 환승이 없다.
- 요금이 경쟁적이다.
- 목적지까지 짧게 걷기만 할 뿐이다.

PRT 이용자수를 예측하기 위해 많은 연구원들 [16]이 모델을 개발했으며, 이는 25-50%의 대중교통이용률이 나타난다. 미국 평균 대중교통 이용자 비율은 현재 뉴욕시의 경우 4.6%며 [17], 뉴욕시를 제외하면 평균은 3%에 더 가깝고, 이는 도시 거주자의 97%가 모든 역에 정차하는 대중교통을 이용하지 않는다는 것을 의미한다. 시스템을 설계하되 예상 이용자수를 충족시키기 위해 과다 설계할 필요는 없으므로, 정확한 이용자수 계산 방법이 필요하다.

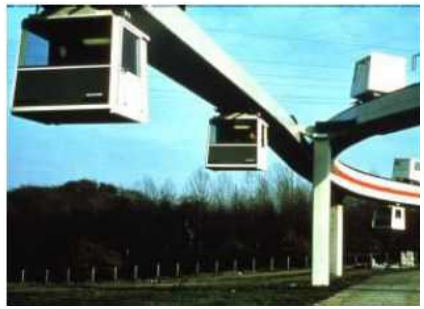
13. 이력과 상태

제어 하드웨어와 소프트웨어를 모두 포함하여, ITNS를 구축하기 위해 필요한 기술은 모두 개발되었다. 필요한 것은, 작지만 실물 크기의 시험 시스템을 구축하기 위한 자금(약 2500만 $)이다. 이 금액은 많은 승객들이 예측하는 것보다 더 적지만, 개발환경이 발전하였기 때문에 실용적이다. 개발은 이미 해외에서 진행 중이다. ITNS는 다른 업계에서 입증된 구성요소를 모은 것이다. 유일하게 새로운 것은 시스템 배치이다: 시스템 제어 소프트웨어는 이미 작성했고 [26] 설계의 최종 검증을 위한 검증 소프트웨어도 구할 수 있었다. 그러나, 지난 30년 동안 PRT 개발 지원용 미국 연방 자금이 제공되지 않았기 때문에, 미국 내에서 이런 시스템을 계속 연구하고 개발할 수 있었던 개발자는 거의 없었다. 이런 문제가 시카고 RTA PRT 프로그램이 붕괴되도록 한 주요 요인일 가능성이 크다. 붙임 C에 기술된 과정을 이용하여 이런 결함을 시정되기를 바란다. 왜 연방 지원이 부족한지 궁금할 것이다. 완벽하게 대답하긴 어렵지만, 너무 낯선 개념이고 이를 이해하려는 욕구나 기회가 없던 업계에게 HCPRT는 너무 급진적이었다는 것이 주요 이유였다. 사람들은 이를 사장시키려고 압력을 가했으며, 로비스트들은 1974년 9월에 이를 달성했다. 오늘날은 상황이 다르다. 석유 가용성이 감소되고 오염을 현저히 저감시켜야 할 필요가 있는 시대에 이동성을 유지하는 데에는 HCPRT와 같은 변형 기술이 필수적이다.

1970년대의 선도적 HCPRT 개발 프로그램 2건이 그림 부록.1.13과 부록.1.14에 예시되어 있다. 연방 지원 부족 때문에 Aerospace 프로그램은 1970년대 중반에 종료되었고, Cabintaxi 프로그램 (DEMAG+MBB)은 독일연방공화국이 상당한 자금을 NATO 프로그램으로 전환한 1980년에 종료되었다. 이 프로그램들은 그 다음 20년 동안 지속적으로 PRT를 개발하기 위해 필요했던 많은 배경을 제공했다. 이런 프로그램이 없었다면, 오늘날 그 어떤 형태로도 PRT에 대해 말할 수 없었을 것이다. 세계는 이들의 선구자적 노력에 대해 이들에게 감사해야 한다.



<그림 부록.1.13> Aerospace Corporation PRT 시스템 [1]



<그림 부록.1.14> Cabintaxi [18]

1970년대에 시행된 세 번째 중요한 PRT 관련 개발 프로그램은 Morgantown, West Virginia에서 여전히 운영되고 있다. 이는 그림 부록.1.15에 나타나 있다. 전자동 운행은 PRT와 유사하지만 20명 승객 차량을 사용하므로 PRT와 유사한 GRT로 분류한다. 겨우 22개월 후에 그 시스템을 운영하려는 계약이 1970년 12월에 체결되었다. 1970년에는 PRT 시스템 [19] 이론을 거의 몰랐기 때문에, 크기, 중량 및 비용이 증가한 의사결정을 많이 했다. 총 (완전히 적재된) 차량 중량은 약 11,900 파운드며 운행 운전간격은 15초다.



<그림 부록.1.15> Morgantown GRT

앞서 필자는 북동일리노이주 지역교통당국 (RTA)의 연구작업을 언급했다. 1993년에, 이는 RTA와 Raytheon Company간의 공공/민간 파트너십으로 이어졌다. 그림 부록.1.16은 Raytheon PRT 차량과 개발된 가이드웨이를 나타낸다. 불행하게도, 관련 경험에 대한 평가 부족 때문에 필요한 것보다 차량 중량은 4배, 가이드웨이는 2배 넓고 2배나 깊었다. 결과적으로 Rosemont, Illinois에게 제안한 자본비용은 3배 이상이었고 운영비도 그만큼 높고 불확실했다. 결과적으로 Rosemont는 현명하게 진행하지 않았고 프로그램은 잔인하게 사장되었다. 4명 승객용 Raytheon 차량의 총 중량은 약 6600 파운드였으며 운행 운전간격은 약 3초였다.



<그림 부록.1.16> Raytheon PRT 2000

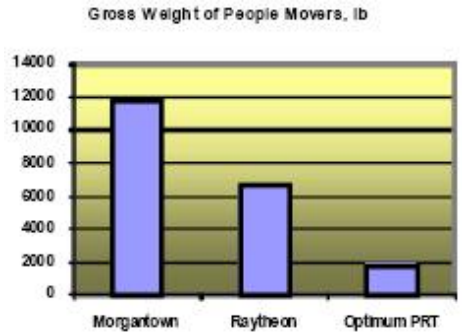
최종적으로, 그림 부록.1.17에 나타난 시스템을 고려하라. 2001-2년 중에 필자는 Taxi 2000 Corporation을 위해 설계와 제작을 지휘했는데, 이는 2003년 4월에 대중에게 개방되었고 2003년도 Minnesota State Fair (미네소타 주 전람회)에서 60피트 구간의 가이드웨이에서 결함 없이 열광적인 대중이 수천 번 탑승할 수 있었다. 완전 적재된 차량의 최대 총 중량은 약 1800 파운드며 필자는 많은 차량이 1/2초 운전간격에서 운행될 수 있도

록 제어 시스템을 설계했다. 1990년에 이해한 바와 같이, 그림 부록.1.17에 나타난 시스템은 RTA 프로그램에서 낙찰된 제안서에 대한 기준이었다. 불행하게도, 1993년 10월에 RTA 프로그램의 단계 Ⅱ가 진행 중이었을 때, 단계 Ⅰ 프로그램에서 시행된 작업을 포함한 종전 작업이 무시되어, 주요 중량과 비용이 초과되고 프로그램이 취소되었다. 그런 일이 발생하지 말아야 했다.



<그림 부록.1.17> 최적 HCPRT 설계

그림 부록.1.18은 그림 부록.1.15, 부록.1.16 및 부록.1.17에 나타난 시스템의 총 중량을 나타낸다. 이런 시스템 각각의 마일당 비용에 관한 비용 데이터를 입수할 수 있다. 이 비용을 동일 연도 Ⅰ에 맞춰 수축시키면 시스템 비용은 차량 총 중량에 거의 비례적이다. 비용을 최소화하려면 실제 최소형, 최경량의 차량을 사용할 필요가 있다. 이를 이용하면 최소형, 최저 비용 가이드웨이가 가능하며 요즘 기술로는 충분히 실용적이다.



<그림 부록.1.18> 차량 중량 비교

그림 부록.1.19는 현재 개발중인 3개 PRT 시스템이다. 왼쪽 사진은 ULTra (www.atsltd.co.uk)며, 영국 내 Bristol University에서 개발되었다. 이 시스템은 Heathrow 국제공항에서 시험 중이며, 승객들을 주차장으로부터 터미널 안쪽으로 옮기는 것이다. 웹 페이지에 있는 논문을 보면, 이 시스템은 얼음과 눈이 매우 적은 지역에서 상대적으로 소형, 저속, 저 수송능력 어플리케이션에 한정된다는 점이 명백하다. 가운데 시스템은 Vectus며, 이는 대한민국 철강회사 POSCO (www.vectusprt.com)가 개발하고 있다. 2007년 9월 이래, 이들은 Uppsala, Sweden에서 시험 시스템을 운행한 적이 있으며, 2009년 9월에 대한민국 순천에 1개 시스템을 건설할 것이라고 발표했다. 이 시스템은 가이드웨이에 LIMs를 사용하며, 가이드웨이 중량과 비용을 증가시키고 실패한 Raytheon 시스템의 가이드웨이와 유사한 것을 사용한다. 오른쪽 사진은 네덜란드 PRT 시스템이다 (www.2getthere.com). 이는 Abu Dhabi, United Arab Emirates에서 유명한 Masdar 프로젝트의 최초 단계를 위해, 오염 없이, 석유를 사용하지 않고 수송하기 위한 수단으로 선정되었다. 이 시스템은 표면에서 운행되는 와이어 유도 차량을 사용하므로, 가이드웨이가 필요 없다. 이런 시스템 중 3절과 붙임 A에 제공된 완전한 요구사항 범위를 충족시키는 것은 없다.



<그림 부록.1.19> ULTra, Vectus, 2getthere PRT 시스템

14. PRT 개발의 지체 이유

1953년에 Donn Fichter와 Ed Haltom은 둘 다 도시 승객들을 이동하기 위한 더 나은 방법에 대해 생각하기 시작했으며, 이들의 생각은 PRT(personal rapid transit)이라 하는 개념으로 이어졌다 [34]. 1950년대 후반에, Howard Ross와 Al Sobey는 공중에 매달려 운행하는(현수식) 차량에 관해 연구했고 이 과정에서 공중 현수와 LIM 추진을 이용한 PRT 개념이 발명되었다. 1960년대 초반에 Bill Alden은 다시 독자적으로 PRT 개념을 발명했다. 또한 1960년대 초반에, Honeywell Aeronautical Division에서 일하던 Lloyd

Berggren은 공중 현수와 공기 추진을 이용한 PRT 개념을 발명했다. 얼마 후, 도시계획가인 Bob Bartells는 독자적으로 PRT 개념을 발명했고 아이디어를 문서화했다. 그렇게 오래지 않아, Dr. Herry Kieffer는 비슷하게 독자적으로 PRT 개념을 개발했고 아이디어를 문서화했다. 1963년에 하원의원 Henry Reuss는, 신규기관이 도시 교통에 응용하기 위해 신기술을 연구하도록 하는 Urban Mass Transportation 창설 법안에 어떤 단락을 삽입하기 위해 PRT에 대해 충분히 경청했다. 1968년에 발표되었을 때 미국뿐 아니라 많은 공업국에서도 PRT에 관해 한바탕 활동하도록 했던 일련의 17건의 연구가 1967년에 수행되었다. 따라서, 40년 이상 이후에 우리가 여기에 있으며 우리는 여전히 최초로 운행되는 PRT 시스템을 학수고대하고 있다.

프레젠테이션 중에나 후에 필자에게, PRT는 너무나 논리적인 아이디어인데, 왜 그렇게 오래 걸렸는지 묻는 승객들이 많다. 필자는 이제 PRT가 그렇게 오래 걸린 주요 이유는 오히려 논리적인 아이디어이기 때문이며 기존의 교통과 너무 상이였다라고 응답한다. PRT의 이력 중 성공과 실망을 논의한 후, 필자는 다음과 같이 질문하라고 제언한다: "왜 PRT는 구상 기간이 57년이었는데도 불구하고 존속할 수 있었을까?" 간략히 말하자면, 역사는 다음과 같다:

1973년 3월 28일에, 도시대량수송청장인 Frank Herringer는 수송 세출승인에 관한 하원 분과위원회에게 다음과 같이 말했다: 짧은, 1초 운전간격의 절반인, 고성능 PRT 시스템을 개발할 DOT 프로그램이 1974 회계연도에 시작될 것이다." 백악관이 고성능 PRT 개발에 관심을 가졌기 때문에 이런 프로그램을 추진했으며, 주로 Aerospace Corporation의 Dr. Jack Irving과 회동한 결과였다. 1974년 9월까지 이 프로그램을 사장시키라는 압력을 받았고, 연방 지원에 관심을 가진 수송 컨설턴트가 PRT에 대해 좋게 말한 것은 현명하지 못했다. 1980년까지 PRT에 관심을 가진 관리는 사라진 듯 했지만, 꼭 그렇지는 않았다.

따라서 PRT Update의 1996년도 9월호에서, PRT 시험 프로그램에 자금을 제공한 후, 북동일리노이주 지역교통당국의 의장은 "본인은 PRT가 이 지역에 막대한 리스크가 될 것임을 확신하고 있다"고 인용하고 있다. 2년 후 RTA는 PRT에 흥미를 잃었고 더 이상 이를 언급하지 않았다.

그러면, 미국 내에서 두 번째로 큰 교통조직이 후원한 PRT 개발 프로그램이 실패한 후, 왜 PRT가 최종적으로 중지되지 않았을까? 시카고 입안자 Daniel H. Burnham의 다음과 같은 진술을 대답으로 인용하고 싶다:

"…일단 기록된 논리적 다이어그램은 결코 사장되지 않겠지만,
…다이어그램은 점점 더 고집스럽게 자신을 확신하면서 살아있을 것이다."

따라서, 시카고 PRT 프로그램은 직접 실패했지만, RTA의 PRT Update에서 논의된 바와 같이, PRT 기본 개념의 논리는 죽은 게 아니라, 12 개월 후에 "점점 더 고집스럽게 자신을 확신하고" 있다. 이렇게 역행하면서 PRT는 최소한 15년 지연되었다. 아직도 불확실하다. 여전히 PRT를 완전히 수용하기 위해 투쟁해야 하겠지만, 오늘날엔 낙관적이다.

15. ITNS의 경제성



<그림 부록.1.20> Minneapolis 공항(Hiawatha) 경전철



<그림 부록.1.21> 비용비교

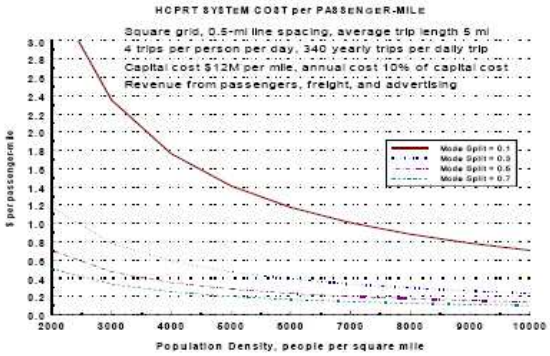
승객-마일당 교통시스템 비용에 대한 주요 방정식을 기반으로 하면, 이런 비용을 최소화하는 시스템은 PRT 개념의 핵심특성을 모두 지니고 있다 [21]. 그림 부록.1.20은 "Hiawatha Line"이라 한 Minneapolis (미니애폴리스) "경량" 철도 시스템이다. 차량 무게가 평균 중량 철도 차량 무게의 거의 2배인 109,000 파운드이기 때문에, "경량"을 인용부

호 속에 넣었다. www.metrotransit.org의 2007 버전에 의하면, 이런 시스템의 자본비용은 $715,300,000이었고 이용자수는 연간 7,270,000명 탑승 또는 1일당 19,910명 탑승이었다. 거의 1일 운행당 $36,000이다. Metro Transit은 연간 운영비가 $19,850,000이라 했다. OMB가 명기한 7%로 자본비용을 상각하면, 연간 총비용은 $69,000,000 또는 운행당 $9.63이다. 평균 운행 길이가 5.8 마일이므로, 승객-마일당 비용은 약 $1.66이다. 게시된 Metro Transit 일정을 기반으로 하면, 평균 속도는 8 mph다. 비교하자면, 자동차의 차량-마일당 총비용은 소형의 32.2 센트로부터 대형 유틸리티 차량의 52.9 센트까지다 [22]. 승객-마일당 자동차 비용은 20% 더 적다. Metro Transit 데이터를 기반으로 하여, 필자는 Hiawatha Line의 평균 요금은 겨우 $0.99라고 계산했으며, 이는 총비용의 10%보다 약간 더 많다.

도심지 Minneapolis에 대한 8 마일 PRT 시스템의 비용을 계획하고 추정했다. 이를 그림 부록.1.21에 있는 Hiawatha 경전철과 비교한다. 자본비용 추정치는 약 $100백만이었고 전문 이용자수 연구 결과 1일당 운행은 약 73,000이었다. 이런 PRT 시스템이 건설된 적이 없었기 때문에, 비용을 배가하자. 그러면 1일 운행당 자본비용은 $2740이며, Hiawatha 라인에 대한 1일 운행당 해당 비용의 7.6%다. 자본과 운영에 대한 연간 비용은 전형적으로 자본비용의 10%며 PRT 시스템상 연간 이용자수는 최소한 1일 이용자수의 320배라고 예상한다. 이를 기준으로 하면, 각 운행당 총 비용은 $0.86이다. 이런 PRT 시스템의 경우, 연구 결과 평균 운행 길이는 약 2 마일이므로 손익분기 요금은 약 $0.43이고 기존의 경전철의 26%다.

증축된 PRT 시스템에 관한 승객-마일당 비용은 어떻게 될까? 그림 부록.1.22는 0.1로부터 0.7까지 스퀘어 그리드 PRT 시스템에 관한 승객-마일당 비용을 나타내며, 이를 모드 분할 (mode split)이라 하고, PRT로 운행한 모든 차량 운행의 소부분의 값에 대한 인구밀도의 함수다. 여러 연구 [6]에서 라인이 1/2 마일 떨어진 광역 PRT 시스템이 최소한 운행의

30%일 것이라 한다. 이를 기반으로 하면, 그림 부록.1.22로부터 인구밀도, 모드 분할과 PRT 시스템 손익분기에 필요한 요금 사이의 관계를 알 수 있다. 그림 부록.1.22에 언급된 대로, 승객 운행은 물론, 상품 이동과 광고로부터도 수입이 있고, 대강 절반이 합리적 추정치며, 승객은 그림 부록.1.22로부터 결정된 금액의 절반만 지급한다.



<그림 부록.1.22> 승객-마일당 시스템 비용.

예를 들면, 인구밀도가 평방 마일당 6000명이고 (시카고 밀도는 평방 마일당 약 13,000명) PRT에 대한 모드 분할이 30%인 경우, 자본과 운영에 대한 승객-마일당 손익분기 비용은 약 40 센트며, 그 중 승객에 대한 손익분기 비용은 약 20 센트고, 이는 요금에서 쉽게 회수될 수 있다.

16. 부지 절약

그림 부록.1.23은 왼편에 시간당 약 6000 차량을 수용하는 고속도로 주행이다 [23]. 네 번째 차선을 가속 차선으로 하는 3개 차선 고속도로다. 그림 부록.1.24는 탑승자를 나타낸다. 자동차들 중 90% 이상은 오직 한 명만 탑승하고 있고, 간혹 2명, 아주 간혹 3명이 있다. (1990년 연구 결과, Twin Cities(Minneapolis and Saint Paul) Metropolitan Council 는 평균 러시아워 자동차 수용인원은 1.08명이며 평균 1일 수용인원은 1.2명이었다.) 그림 부록.1.25는 중앙으로 이동한 모든 승객들은 나타내며 그림 부록.1.26은 이들이 탑승했던 차량이다. 이런 가이드웨이 쌍은 시간당 6000 차량을 수송할 수도 있으며 3개 차선 고속도로의 전체 처리량이다. 역이 승객들 목적지와 가깝도록 정상적으로 펜스 라인을 따라 가이드웨이를 놓을 수도 있다. 그림에서 부지가 절약된 것을 알 수 있다. 펜스 라인에서 펜스 라인까지의 전형적인 고속도로 폭은 약 300 피트다.



<그림 부록.1.23> 수송능력을 꽉 채워 주행하는 고속도로



<그림 부록.1.24> 탑승자

그림 부록.1.26의 중간에 있는 2개 ITNS 라인은 폭의 겨우 15 피트만 차지하며, 단위 수송능력당 20:1의 폭 감소 또는 5%의 부지 면적의 감소가 가능하다. 그러나 ITNS 시스템용 부지는 가이드웨이 지지대와 역을 위해서만 필요하며, 가이드웨이가 1/2 마일 떨어지면 부지이용률은 도시부지의 0.02%에 불과하다. 가이드웨이 아래쪽 부지는 도보나 자전거 오솔길로 사용될 수 있으며 보행자, 차량, 또는 동물 횡단을 방해하지 않을 것이다. 자동차는 거주용 부지의 약 30%를 필요로 하며 부지의 대략 50-70%는 도심지 구역 내에 있다. 이렇게 어마어마하게 부지를 절약하면 안전하고, 오염이 적으며, 에너지 효율적이고, 조용하며, 환경친화적인 고밀도 생활을 개발할 수 있다.



<그림 부록.1.25> 중앙으로 이동한 승객들



<그림 부록.1.26> 전원 ITNS 탑승



<그림 부록.1.27> ITNS으로 인해 복구된 공원

그림 부록.1.27은 ITNS 시스템이 필요로 하는 소규모 부지의 작은 부분을 예시한 것이며, 이는 보이는 간선 거리보다 실제로 더 많은 시간당 승객을 수송할 수 있다. 종전에 지상 주차용이던 구역은 공원이나 정원으로 복구될 수 있으므로, 도시 내부를 승객 친화적으로 만들고, 공기로부터 이산화탄소를 점점 더 많이 흡수하며, 식물이 성장함에 따라

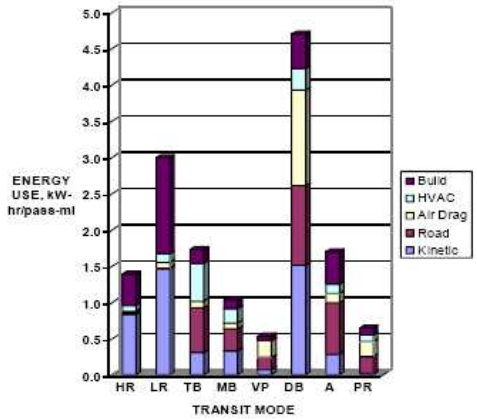
태양 에너지를 흡수하는 반면, 콘크리트와 아스팔트가 햇빛을 흡수하고 주변 공기를 즉시 가열하기 때문에 여름 온도가 낮아진다.

17. 에너지 절약

에너지를 최소한으로 사용하려면 매우 경량인 차량; 도로 저항을 낮추기 위한 매끄럽고, 딱딱한 타이어; 대기저항력을 낮추기 위한 유선형 차체; 그리고 효율적 추진력이 필요하며, 이 모든 것이 ITNS 속에 설계된다. 탑승자가 있건 없건 서비스를 제공하려면 자동차가 반드시 주행해야 하는 기존의 교통과는 달리, ITNS 차량은 승객이 운행을 원할 때만 주행한다. 연구 결과 이런 주문형 서비스는 주어진 승객을 수송하기 위해 필요한 운행일당 차량-마일의 수를 2배 이상 감소시키며, 이는 에너지 사용과 운영비를 비례적으로 저감시킨다는 점이 나타났다 [21].

게다가, 기존의 교통은 자주 정지하고 출발해야 하며, 이는 전형적인 운행 중에 여러 번 동작하는 동역학적 에너지가 적용되고 제거되어야 한다는 것을 의미한다. 회생 제동에 의해 일부 에너지가 복구될 수 있지만, 정지-출발 조작은 실제로 운행당 에너지 사용을 증가시킨다. 특정시간을 제외하면 대부분 움직이지 않고 있는 자동차와는 달리, ITNS 차량은 1회 운행을 끝내면 즉시 또 다른 운행용으로 이용될 수 있다는 것이 추가적인 이점이다. 결과적으로 자동차의 절반 무게인 ITNS 차량 1대는 자동차 약 10대만큼 몫을 하여 9대 몫의 에너지를 절감한다.

그림 부록.1.28은 도시교통 중 8개 모드인 중전철, 경전철, 무궤도전차, 버스(=모터 버스), 밴 풀, 전화호출 버스 (dial-a-bus), 자동차 및 PRT의 승객-마일당 에너지 사용을 비교한다 [24]. 이런 모드 중 첫 7개는 연방 출처로부터 나온 평균이다. 동역학 에너지에 대한 에너지 사용, 도로 저항, 대기저항력, 난방, 환기 및 에어컨 사용 및 제작비용이 나타나 있다. 요약하면 PRT는 새로운 연방 지침에 따른 자동차 시스템보다 2배나 에너지 효율적이며, 이는 평균 경전철 시스템보다 거의 2배나 효율적인 에너지 사용이 가능하다.



<그림 부록.1.28> 에너지사용 비교

가이드웨이 측면과 상부에 배치된 태양열 패널로 ITNS용 에너지를 제공한다고 가정하라. 우수한 태양열 모듈은 평방 미터당 최고 약 180W를 생산한다. 가이드웨이의 오직 한 측면만 태양에 노출된다는 점을 고려하면; 마일당 약 2200 평방 미터의 태양열 패널을 보유하고, 이 경우 약 400 kW를 생산한다. 난방이나 에어컨을 감안한 ITNS 차량의 전력 사용은 최대 약 4 kW다. 따라서, 최고 상태 하에서, 태양열 에너지는 마일당 400/4 = 100 차량에게 동력을 공급할 수 있다. 예컨대 30 마일/시의 운행속도로 운행할 경우 고속도로 차선의 최대 수송량의 1.5배인 시간당 3000대의 차량을 ITNS 시스템은 수송할 수 있다. 그러나 여기서는 최대 흐름의 일부분인 평균 1일 흐름이 관심사다; 따라서 1일 평균 마일당 차량의 수는 100보다 훨씬 더 적다. 따라서, 태양열 복사가 최대인경우, 가이드웨이의 측면과 상부 태양열 패널은 실제 필요한 것보다 에너지를 더 많이 생산할 가능성이 크다. 필요한 경우, 복구할 배터리, 플라이휠 (회전속도 조절바퀴), 수소, 압축공기, 또는 양수발전소 (pumped storage plant)에 남는 에너지를 보관할 수 있다.

18. 승객에 대한 이익

- 시스템은 모든 승객이 사용하기 쉬울 것이다. 운전면허가 필요 없다.
- 승객이 차량을 기다리기 보다는 차량이 승객을 기다릴 것이다.
- 운행은 비용 경쟁력이 있다.
- 운행은 짧고, 예측할 수 있으며, 논스톱이다.

- 대기가 최소거나 아예 대기가 없다.
- 모두 착석할 것이다.
- 어떤 시간에도 시스템을 이용할 수 있다.
- 차량은 난방이 되고, 환기되며, 공기가 조절된다.
- 혼잡이 없다.
- 시스템 내에 차량 대 차량 환승이 없다.
- 탑승은 개인적이며 조용하다.
- 휴대전화를 사용할 수 있고, 문자 메시지를 보낼 수 있으며, 독서하거나, 경치를 구경할 수 있다.
- 부상의 기회가 극히 희박하다.
- 개인 보안이 높다.
- 쾌적하게 탑승할 수 있다.
- 수하물, 휠체어, 유모차, 또는 자전거용 공간이 있다.

19. 주변환경에 대한 이익

- 에너지를 매우 적게 사용한다.
- 시스템에 재생 에너지를 사용할 수 있다.
- 직접적인 공기오염이 없다. 자동차 시스템보다 2배 이상 에너지 효율적이며, 재생에너지를 사용함으로써, 전체 공기오염이 실제로 저감된다.
- 시스템이 자동차 이용자들에게 매력적이므로, 교통체증을 줄인다.
- 막대한 부지 절약. 자동차 시스템은 30-70% 필요하지만 ITNS 시스템은 0.02%만 필요하다.
- 사고에 대해서는, 사고가 없을 것이라고 말할 수는 없지만, 100백만 운행 마일당 비율은 자동차의 경우보다 10억 분의 1 미만이다[12] .
- 노인들도 쉽게 이용할 수 있다.
- ITNS는 기존 철도나 버스 시스템의 이용자수를 증가시키고 증대시킨다.
- 많은 노선과 역 사이에 서비스를 확산하기 때문에, 테러리스트가 고가 가이드웨이를 표적으로 삼기 어렵다.
- 교통 보조금이 감소된다.
- 더 살기 좋은 고밀도 주변 환경이 가능하다.
- 출퇴근 직원들이 즐겁게 탑승하므로, 쉬고 느긋하게 직장에 도착할 수 있다.

- 승객들을 더 많이 매료시키는 공원과 정원이 가능하다.
- 우편물, 상품 및 폐기물 이동이 안전하고, 신속하다.
- 상점, 병원, 사무실 및 학교 접근이 더 쉽다.
- 전천후, 내부에서 내부까지의 교통이 더 빠르다.
- 도시 부지의 사용 효율성 증대.
- 도시 sprawl 현상(무분별한 도시의 확장)이 더 적다.

20. 문제를 재고하라

ITNS는 제 2 절에 열거된 모든 문제를 다루는데, 그 중에서도 교통체증, 석유 의존가능성 및 글로벌 온난화는 신문에 많이 기사화된다 [25]. 미국주택도시개발청 (U.S. Department of Housing and Urban Development)의 지속가능 도시 프로그램 (Sustainability Cities Program) 코디네이터 직에서 퇴직한 Andrew Euston에 의하면, PRT는 "지속가능 세계를 위한 필수 기술이다." 포드 자동차회사 회장 William Clayton Ford는 "자동차 소유의 필요성이 필요 없는 날이 올 것이다. 도시에 살면, 자동차를 소유할 필요가 없을 것이다" 라고 언급한 적이 있다 [27]. 자동차가 이미 도시를 꽉 메우고 있는 한편, 에너지 효율 증대나 재생 에너지를 사용하더라도, 매년 기하급수적으로 증가하는 자동차를 유한한 지구에서 향후에도 계속 판매할 수는 없다는 것을 자동차 임원들도 이해하고 있다.

그리고 해결책: 최소 규모 오프라인 역과 고가 가이드웨이 사이를 완전 자동 주행하는 최소형 차량을 최적으로 조합하면 1) 자동차 시스템일 때 필요로 하던 부지를 줄인다, 2) 일단 운행이 끝나면 각 차량이 재사용될 수 있기 때문에, 1개 차량은 약 10대의 자동차를 필요로 하는 운행에 이바지할 수 있고 주차용 부지가 현저히 감소한다, 그리고 3) 미국에서 정기 운행되는, 올 스톱 교통을 경험한 승객을 최소한 10배 이상 매료시킬 수 있다. 이렇게 높은 에너지 효율과 오염 없는 에너지원을 사용할 수 있는 능력이 있기 때문에, ITNS는 산업화된 문명의 심각한 문제에 대한 명쾌한 해답이다.

21. 중대한 관련 활동

- 2010년 2월 8일에, 미네소타 운수성은 "RFI - PRT: 실행 가능성과 이익"을 발표했다. www.dot.state.mn.us/transit/에서 이를 얻을 수 있다. 이들은 2010년 8월 18일에 PRT에 관한 워크숍을 개최했다.

- 2010년 2월 4일에, Connect Ithaca, LLC 기구는 PRT 잠재 공급업체에게 Ithaca(미국 뉴욕 주) 내 PRT의 예비 타당성 연구를 위한 비용 분석용 정보를 요청했다. 뉴욕 주 에너지연구개발청과 뉴욕 주 운수성이 연구계약을 체결했다.

- 2009년 12월 9-10일에 Malmö(스웨덴)에서 개최된, Pod Cars에 관한 제 3 차 회의에서 스웨덴 기업 에너지 통신부가 "Podcars-새로운 선로 여행: 지속가능 여행 옵션" 제하의 브로슈어를 배포했다. 이는 "선행시스템(Pod Car)에 대해 가능한 프로젝트와 가능한 공급업체가 많이 있다," "…podcar 교통 시스템은 2014년에 현실화될 수도 있다"라는 결론을 내렸다.

- 2009년 8월 31일에, 캘리포니아 주 산호세 시는 자동화 교통망 (ATN: Automated Transit Network) 개발을 지원하기 위해 산호세 자동화 교통망 FFRDC (Federally Funded Research and Development Center: 연방출연연구개발센터) 개발 서비스에 대한 제안 요청서를 발표했다. ATN을 PRT이라고 정의한다. 이는 시카고 PRT 프로젝트 이래 미국 내 최초의 PRT 개발 노력이다. 산호세는 필요한 시스템을 확보하도록 Aerospace Corporation과 계약했다.

- 영국 공항당국은 승객과 수하물을 주차장에서 터미널까지 이동하기 위해 Heathrow 국제공항에서 PRT 시스템을 곧 운행할 것이다.

- Posco는 Vectus라 하는 PRT 시스템을 Uppsala, Sweden에서 건설했고 시연하고 있는 중이다. 2009년 9월에 대한민국 순천시에 이 시스템을 설치할 계획이 있다고 공표했다.

- 아부다비 Masdar 프로젝트는 네덜란드 2getthere 시스템을 1 단계 시스템으로 이용하여 PRT 시스템 설치에 적극적으로 관여하고 있다.

- 2008년 가을에 캘리포니아 주 Santa Cruz 시는 잠재적인 PRT 공급업체들에게 PRT 시스템 건설용 적격성 평가서를 제출하라고 요청했으며, 현재 캘리포니아 주내 4개 도시가 PRT에 관심을 갖고 있다.

- 2008년 12월에 Frost & Sullivan [28]은 100 페이지짜리 “PRT 시스템 시장의 세계적 등장에 대한 핵심 분석”을 발표했고, “현재, 환경친화적 교통시스템 구현이 세계적으로 강조되고 있는 것은 기술 진보 및 기술적 전문지식 증가와 관련 있다. 그 결과, PRT는 과거의 실행이 어려운 첨단 기술이 아니라 현재 적용할 수 있고, 비용 대비 효율적이며 유연한 교통시스템이다”라고 결론을 내렸다.

- 뉴저지 주 의회는 PRT에 매우 우호적인 연구에 자금을 제공했다. 이는 2007년 4월에 발표되었고, www.prtnz.com을 포함한 여러 웹사이트에서 입수할 수 있다.

- 2006년 3월에 유럽연합 공식 연구는 “PRT는 교통정책 및 모든 관련 정책 목표에 중대하게 기여한다. 이런 혁신적 교통 개념은 사회 모든 그룹의 이동성을 감당할 수 있으며 형평성을 달성하기 위한 기회다…… PRT는 대중교통의 개인화이며, 실제로 자동차 이용자들을 매료시키고 더 광범하게 시장에 침투하여 운영비와 자본비용을 만회할 수 있는 최초의 대중교통시스템이다. PRT는 기존 대중교통망을 보완한다. PRT의 특성은 매력적인 교통서비스와 높은 안전성이다”라는 결론을 내렸다 [2]

- 1998년에, 1년간 연구한 후, Forward Quest라 하는 Cincinnati 사업가 기구의 첨단 고가철도위원회 (Advanced Elevated Rail Committee)는, 일부는 하드웨어로 존재했고 일부는 이론적 설계였던 50개의 다른 고가 철도 시스템 중에서 필자의 설계인 Taxi 2000를 권장했다.

- 1990년대에 워싱턴 주 SeaTac 시는 PRT 연구에 약 1백만 $를 지출했고 실행 가능한 PRT 시스템을 기다리고 있다. 하나는 SeaTac 내 60명의 관리 그룹에게, 또 하나는 워싱턴 주 의회의원 40명에게 필자가 제공한, 2개 프레젠테이션의 결과로 획득한 30만 $의 보조금으로 1992년에 이 연구가 개시되었다.

22. 개발 전략

PRT International, LLC는 이전 작업에 비해 개선된, ITNS라 하는 새로운 설계로 HCPRT 분야에 진입했다. 숙달된 시스템 엔지니어와 엔지니어링 회사들은 필요한 자금의 입수 즉시 그 회사와 함께 작업할 준비를 하고 있다. 우리 접근법은 다음과 같다:

1. 우선 의사결정이 상대적으로 쉬운 보통 규모의 어플리케이션을 찾고, 이들의 요구사항을 우리가 가장 잘 충족시킬 수 있다는 것을 아는 투자자를 찾아라. 실제 승객을 이동하는 최초 시연에서 ITNS에 회의적인 수송업계에게 ITNS는 계획한 대로 실행될 것이라는 점을 확신시켜야 한다.

2. 어플리케이션에 관심이 있는 투자자들과 함께, 최소한 35 mph의 속도를 무난히 달성하기에 충분히 큰 루프형태의 가이드웨이를 이용하고, 선정된 부지에서 처음엔 1개 역, 1개 유지보수 시설, 그리고 3개 차량으로 최초의 실물 크기 시범 프로젝트에 자금을 제공하며, 다양한 규모의 역, 차량, 합류 및 분기점에 적용할 수 있다는 것을 증명하라. 그런 시설은 최초의 승객 이동 어플리케이션의 성공을 가능한 한 신속히 보장하기 위해 필요한 사양을 입증할 수 있을 것이며, 수년 동안 어플리케이션과는 별도로 새로운 설계 특징을 입증하기 위한 테스트 베드 (test bed: 시험대)가 될 것이다. 수년간의 이론, 개발, 계획, 설계 및 건설 경험을 살려, 최초 어플리케이션에 관한 부지 엔지니어링과 세계적 마케팅을 충분히 참작하여 2천5백만 $ 이하로 24-30개월 내에 프로그램을 완료할 수 있다고 추정한다. 즉시 진행하기 위해 프로그램에 대한 충분한 계획을 완료했으며, 오늘날의 설계 도구를 이용하면 이전에 보다 훨씬 더 빨리 제조용 최종 설계를 준비할 수 있을 것이다. 우리는 당장 시작할 준비가 되어 있다.

3. 여러 금융그룹의 대표자들이 우리에게 접근했지만, 겨우 약 1/2 마일이라도 단지 시험과 마케팅만을 위해 사용될 가이드웨이를 건설하는 것이 3년 이후에나 수익을 기대할 수 있으며 실패할 수 있다는 생각에, 필자가 위에 언급한 종류의 입증시험에 투자한 대표자들은 아무도 없었다. 그럴 필요는 없다. 상기 항목 #1에 언급된 어플리케이션의 경우, 시스템 건설을 시작하기 위해 필요한 모든 계획을 하는 데에 아마도 최소한 18개월이 걸릴 것이다. 반면에, 필요한 자금 이용 후 1주 이내에 순수한 시범 프로젝트를 위한 부지를 선정할 수 있었으며, 엔지니어링 작업이 진척되었기 때문에, 부지 취득 조사를 즉시 시작할 수 있었고 1개월 후에 가이드웨이 지지대의 구멍을 팔 수 있었다. 반드시 집결해야 하는 엔지니어링 팀은 최종적으로 컴퓨터화된 설계 작업이 매우 빨리 실현되는 것을 보게 될 것이며, 완전한 지원 없이 도 겨우 1년 남짓 이내에 시험을 시작할 수 있다. 그 후 반드시 일치단결해야 하는 팀은 우리가 실패하기를 바라는 경쟁자들의 바램과는 반대로 시스템을 시험할 수 있을

것이다. 시험을 시작한지 2년 후, 철저한 시험을 진행하면서, 우리 팀은 세부 계획과 함께 최초 어플리케이션에 관한 엔지니어링 작업 개시 준비를 한다. 이런 과정을 이용하면, 설령 있더라도 투자에 대한 수익의 지연은 거의 없을 것이고, 경험 많은 모든 엔지니어가 필요한 정밀조사에서부터 최초 어플리케이션은 수익이 생길 것이다.

4. 타인들과 협력하여, 컨설턴트, 입안자 및 금융인에게 ITNS에 대해 계속 통보하라.

5. 특정 어플리케이션에 대해 계획 연구를 수행하라.

6. 붙임 C에 제공된 지도목록에 따라 ITNS와 관련된 엔지니어링, 금융지식, 그리고 입안과정을 가르쳐라. 이런 시스템을 평가하고 계획하려면, 많은 교통 컨설턴트가 자세한 내역을 알아야 할 필요가 있다.

7. 회사가 역량, 설계 우수성을 기반으로 하여 시스템 구매자에게 많은 공급업체에 대한 신뢰를 제공함으로써 그 들이 프로젝트에 참여하고 현재의 교량, 도로, 철도시스템 등과 같은 공공 공사와 같이 ITNS가 일반화 되도록 적시에 실현하라. ITNS의 잠재력을 아는 투자자는 그 분야가 포화되기 전에 상당한 이익을 거둘 것이다.

23. 참고문헌

(*로 표시된 논문은 www.prtnz.com에서 찾을 수 있다)

1. Irving, J. H., Bernstein, H., Olson, C. L., and Buyan, J. Fundamentals of Personal Rapid Transit, Lexington Books, D. C. Heath and Company, Lexington, MA, 1978.
2. http://www.advancedtransit.org/doc.aspx?id=1133
3. J. Schweizer and L. Mantecchini, “Performance Analysis of Large-Scale PRT Networks: theoretical capacity and micro-simulations,”APM07, 11th International Conference on Automated People Mov-ers, Vienna, Austria, 22-25 April 2007, Arch+Ing Akademie in Cooperation with ASCE.
4. J. E. Anderson, “The Future of High-Capacity PRT,” Advanced Automated Transit Systems Conference, Bologna, Italy, November 7-8, 2005. *

5. J. E. Anderson, “Calculation of the Structural Properties of a PRT Guideway.” Contact the author.
6. J. E. Anderson, “The Tradeoff between Supported vs. Hanging Vehicles.” *
7. J. E. Anderson, “Automated Transit Vehicle Size Considerations,” Journal of Advanced Transporta-tion (JAT), 20:2(1986):97-105. *
8. J. E. Anderson, “PRT: Matching Capacity to Demand.” *
9. Department of Transportation and Related Agencies Appropriations for 1974. Hearings before a Sub-committee of the Committee on Appropriations, House of Representatives, Ninety-Third Con-gress, John J. McFall, Chairman, Part I, Urban Mass Transportation Administration, page 876. See page 11 for a reproduction of page 876.
10. California Partners for Advanced Transit and Highways. http://repositories.cdlib.org/its/path/reports/UCB-ITS-PRR-97-26/
11. J. E. Anderson, “Safe Design of Personal Rapid Transit Systems,” JAT, 28:1(1988): 1-15. *
12. J. E. Anderson, “Failure Modes and Effects Analysis and Minimum Headway in PRT Systems.” *
13. J. E. Anderson, "Control of Personal Rapid Transit Systems," JAT, 32:1(1998):57-74. *
14. J. E. Anderson, "Dependability as a Measure of On-Time Performance of Personal Rapid Transit Systems," JAT, 26:3(1992):201-212. *
15. J. E. Anderson, "Life-Cycle Costs and Reliability Allocation in Automated Transit," High Speed Ground Transportation, 11:1(1977):1-18. *
16. J. E. Anderson, “Estimates of Ridership on Personal Rapid Transit Systems,” *
17. C. K. Orski, Innovation Briefs, Nov/Dec 2006. www.innobriefs.com.
18. Development/Deployment Investigation of Cabintaxi/Cabinlift System, Report No. UMTA-MA-06-0067-77-02, NTIS Report No. PB277 184, 1977.
19. J. E. Anderson, Transit Systems Theory, Lexington Books, D. C. Heath and Company, Lexington, MA, 1978. Can be downloaded from www.advancedtransit.org
20. For a video of a system based on the author“.s design, see http://www.gettherefast.org/bettercampus.html

21. J. E. Anderson, "Optimization of Transit-System Characteristics," JAT, 18:1(1984):77-111.*

22. www.fhwa.dot.gov/ohim/onh00/onh2p3.htm

23. W. A Wilde, "The Simple, Compelling Case for PRT," JAT, 32:1(1998).

24. J. E. Anderson, "What Determines Transit Energy Use," JAT, 22:2(1988):108-132. *

25.http://www.wbcsd.org/DocRoot/GBd1piGsgd7NfFnfuJwa/wbcsd-nairobi.pdf http://movingbeyondcongestion.org/

26. J. E. Anderson, "Some History of PRT Simulation Programs.*

27. R. Gilbert and A. Perl, "Grid-connected vehicles as the core of future land-based transport systems," Energy Policy, June 27, 2006, page 9.

28. http://www.researchandmarkets.com/research/de84c4/executive_analysis

29. Richard A. Kerr, "Are We Ready for the Next Solar Maximum? No Way, Say Scientists," Science, 26 June 2009, pages 1640-1641.

30. J. E. Anderson, "How to Design a PRT Guideway," Automated People Mover Conference, Atlanta, GA, June 1-2, 2009.

31. J. E. Anderson, "Overcoming Headway Limitations in Personal Rapid Transit Systems," 3rd Conference on PodCars, Malmöo, Sweden, 9-10 December 2009, www.podcar.org/cop15/.

32. R. P. Lang and D. J. Warren, "Microprocessor Based Speed and Position Measurement System," IEEE Technical Paper, May 1983.

33. J. E. Anderson, "Longitudinal Control of a Vehicle," Journal of Advanced Transportation, 31:3(1997):237-247.

34. J. E. Anderson, "Evolution of Personal Rapid Transit."*

붙임 A

설계 요구사항

	요구사항	요구사항이 어떻게 충족되는가
1	시스템 설계 시 10억 마일당 1건 이상의 사고가 발생하지 않도록 기존의 교통 시스템보다 안전성 수준이 훨씬 높아야 한다.	1) 실용성을 유지하면서 입증된 신뢰성의 구성요소를 이용하라. 2) 컴퓨터가 필요한 경우에는 언제든지 이중 양방향 컴퓨터를 이용하라.
2	가이드웨이 지지대나 추락하는 나무와의 충돌로 인한 부상 가능성이 극히 드물어야 한다.	1) 콘크리트 턱이나 고속도로 장벽 등을 이용하여 자동차의 충돌을 방지하라. 2) 가이드웨이를 손상시킬 정도의 큰 나무가 떨어질 경우를 대비하여 가이드웨이를 재배치하거나 나무 뒤를 케이블로 고정하라
3	안락한 승차는 필수적이지만 많은 PRT 개발자들이 이를 간과했다. 안락한 승차를 위하여 지속적인 최대 가속과 jerk를 고려하여 PRT를 설계하고 ISO기준의 허용가속도와 발생빈도를 준수해야 한다. 커브에서 차량이 기울어질 때 멀미도 고려하라.	1) 주어진 기준에 따라 곡선부분의 가이드웨이의 표면을 매끄럽게 하라. 2) 곡선부분에서 허용범위의 속도의 경우 측면 가속도와 jerk가 안락한 승차를 방해하지 않도록 해야 한다. 3) 전후방향의 가속도와 jerk도 이를 준수해야 한다.
4	설계는 미국장애인법과 호환성이 있어야 한다.	1) 차량은 보호자와 휠체어를 수용할 수 있어야 한다. 2) 시각, 청각 장애인도 발권 및 쉬운 탑승을 할 수 있어야 한다.
5	간단하게 제조할 수 있고 설치할 수 있도록 설계되어야 한다.	1) 단순하게 설계하고 모든 개발단계에서 제조 엔지니어와 협의하라.
6	최소 크기, 중량 및 자본비용.	1) 이런 요인은 PRT 설계 기본이다. 최대 수직 하중과 측면 풍압하중을 고려하여, 최소 중량의 가이드웨이의 폭은 깊이보다 약간 더 좁아야 한다. Aerospace Corporation은 우선 이런 결론에 도달했으며 이런 최적 구조 설계는 최소한의 시야제한 즉, 최소 음영을 제공할 것이다. 2) 가이드웨이 폭이 최소가 되는 수직 새시를 이용하라. 3) 고압 공기타이어 또는 특성이 유사한 무공기 타이어차량을 사용하여 타이어 접촉면적과 가이드웨이 폭을 최소화하라. 4) 가이드웨이 중량을 최소화하는 강철 트러스 구조를 이용하라.

7	실용적인 최소 운영비.	1) 중간 정차를 제거하면, 차량이동거리는 정기운행 올 스톱 시스템보다 절반 미만으로 줄어들 것이며 필요한 동역학 동적 에너지도 최소화된다. 2) 가이드웨이 표면을 매끄럽게 하여 저항을 최소화하라. 3) 유선형 차체를 이용하여 공기저항을 최소화하라. 4) 모든 속도에서 전력손실이 최소가 되도록 필요전류를 최소화해야 한다. 따라서 가변 주파수 운행을 이용한다.
8	선로전환 개념은 간단하고, 설명이 쉬우며, 가장 중요한 개념이다.	1) 세로축 주위로 회전하는 차상 선로전환기 암이 이 요구사항을 이행한다. 선로전환 중에 가해진 힘이 선로전환기 회전축 중심을 통과하도록 설계하여 선로전환기를 이중으로 안정시킨다.
9	지지대 간격. 연구 결과 가이드웨이 지지대의 간격은 최대 27 미터 (90 피트)로 설계되어야 한다. 강이나 주요 고속도로를 횡단하기 위해 필요한 더 긴 전폭은 케이블로 지지된 현수교 기술을 이용한다.	1) 최소 중량, 강철, 트러스 구조를 이용함으로써 가이드웨이 하중이 최소화되고 전폭이 최대가 될 수 있다.
10	가이드웨이와 제조기술은 수평곡선과 함께 언덕과 계곡도 수용해야 한다.	1) 곡선으로 쉽게 휘어지도록 하기 위해 원형 관 세로보와 강철 트러스 가이드웨이를 함께 사용하라.
11	날씨 방호. 시스템은 비, 눈, 얼음, 먼지, 그리고 염분 속에서, 즉, 일반적인 실외환경에서 운행될 필요가 있다. 그래서 일부 설계자는 차량이 가이드웨이에 매달려야 할 필요가 있다는 결론을 내렸다; 하지만, 가이드웨이의 상부 차량 배치를 선호하는 이유도 많다.	1) 차량이 운행되도록 가이드웨이 상부에 4 인치 슬롯을 남겨두고 강철 트러스 구조의 가이드웨이의 측면과 상부에 합성재질의 덮개를 설치한다. 이런 커버는 전력레일에 얼음이 누적되지 않도록 하고, 타이어를 태양으로부터 막아주며, 열팽창 차이를 최소화하고, 전자기 및 소음을 차폐한다.
12	가이드웨이 가열. 겨울에도 가이드웨이 가열이 필요없도록 가이드웨이를 설계해야 한다	1) 이전 항목에서 기술된 설계를 하면 가이드웨이를 가열할 필요가 없다.
13	최대 풍압하중에 대한 내성. 법규는 도시마다 변하므로, 허리케인 바람 조건으로 생각하여, 240 km/시 (150 mph) 옆바람용으로 설계했다. 전체 시스템이 일어날 가능성이 거의 없는 하중을 견디도록 건설하기보다는 고장 난 구간을 교체하는 것이 더 저렴하기 때문에, 320 km/시 (200 mph)를 훌쩍 넘을 수 있는 토네이도 바람에 대해서는 설계하지 않았다.	1) 측면 항력계수(drag coefficient)를 약 0.6 까지 줄이기 위하여 곡선에서 덮개를 설치하라. 2) 최대 측면 하중용으로 지지대와 토대를 설계하라.

14	지진 하중에 대한 내성. 발생된 바와 같이, 지진으로 인해 땅이 수평으로 갈라지는 경우, 고장을 방지할 수 있는 설계는 없다. 가장 흔한 지진 하중은 수평가속으로 변환된다.	1) 가이드웨이가 가벼울수록 토대와 지지대는 측면 관성하중에 내성이 있다. 트러스 가이드웨이는 가능한 한 가벼워야한다. 2) 지진 지대에서, 지지대의 토대는 지진 하중의 쇼크를 흡수하도록 설계된다.
15	시스템 설계에서 운행 속도는 속도와 안락함에서 합리적이어야 한다.	1) 최대로 편안한 운행 속도는 가이드웨이의 고유 진동수에 비례하며, 경량 트러스 구조를 이용하면 이것이 최대화된다.
16	가이드웨이 설치, 변경, 확장 또는 제거가 쉬워야 한다. 직선 구간을 제거한 후 선로전환 구간을 설치하는 방법으로 시스템이 확장되도록 설계한다.	1) 경량 트러스 구조는 설치, 변경, 또는 제거 비용이 최소화한다. 2) 각 부품의 끝부분은 조립과 제거가 쉬워야 한다.
17	시스템은 간단한 방법으로 설계되어 차후 무한 확장이 가능하도록 설계되어야 한다.	1) 전력레일을 통한 지상 전력을 이용하면 가이드웨이를 무한하게 확장할 수 있다.
18	가이드웨이 설계 시 지지대에서 경사가 불연속이면 안 된다.	1) 가이드웨이 연결시 정밀한 이음매를 사용하여 경사의 불연속을 방지하여 차량의 덜컹거림을 방지해야 한다.
19	유지보수를 위한 접근. 필자는 1974년에 Düsseldorf(독일)에 있는 H-Bahn 시험 시스템을 방문했다. 차는 반대로 된 U 모양의 철판 가이드웨이에 매달려 있었다. 가이드웨이 내부에 전력레일과 통신선이 있었지만 거기에 도달할 방법이 없었다. 유지보수가 필요없다고 가정해야만 이렇게 할 수 있으며, 이런 가정은 허용될 수 없다.	1) 하부 덮개에 경첩을 달고 상부에는 퀵 파스너를 사용하면 유지보수를 위해 아래쪽에서 가이드웨이 내부에 도달하도록 있다(유지보수는 매우 드문 일일 것이다).
20	열 응력 경감. 정오를 제외하고, 태양은 다른 쪽은 그늘지게 하면서 가이드웨이의 한쪽에 비출 것이므로, 한쪽이 다른 쪽보다 더 많이 팽창하게 된다. 이로 인해 구조적 고장이 생긴 경우도 있다.	1) 강철 트러스 위에 덮개를 설치하면 내부 온도를 거의 일정하게 할 수 있으므로, 열 팽창 차이 문제를 제거할 수 있다.

21	겨울 밤하늘로부터 전력레일을 차폐해야 한다. 일부 PRT 시스템은 차상 배터리로 차량을 운행하니까 이것은 문제가 아니다. 하지만, 차상 배터리는 중량을 추가하며 최악 상태의 바람, 경사도 및 운행 길이를 위해 충분한 에너지를 포함해야 하고, 이는 시스템이 확장됨에 따라 증가한다; 따라서 슬라이딩 접촉자를 통해 지상 전원을 택하는 것이 더 낫다. 맑은 겨울 밤에는 매우 차가운 공간까지 열이 복사되며 결국 금속성 표면에 서리가 형성되기도 한다. 1972년에 Dallas-Ft. Worth 공항에 설치된 Airtrans 시스템의 경우, 맑은 겨울 밤에 전력레일에 서리가 많이 형성되어 매일 아침 시스템 시작 전에 임시방편으로 에틸렌 글리콜(부동액)을 분사해야 했다. 후에 전력레일에 히터를 설치했다. Minnesota 동물원에 설치된 고가 가이드웨이 시스템에 유사한 문제가 있었다. 전력레일이 보호된 Cabintaxi와 같은 시스템에서는, 서리 형성이 문제되지 않았다.	1) 가이드웨이에 덮개를 설치하여 서리 문제를 없앤다.
22	적당한 비틀림 강성이 설계에 반영되어야 한다.	1) 특수 브래킷을 이용하여 가이드웨이와 지지대를 고정하고 관의 세로보를 사용하면 적절한 수준까지 비틀림 강성이 증가된다.
23	필요한 지지대 고정에 관한 오차를 완화하라	1) 쐐기가 가이드웨이 지지대의 하부에 배치되도록 설계하라. 2) 경사 불연속을 없애기 위해 가이드웨이 부품 사이에 이음매를 설치하라.
24	최대 속도를 얻기 위한 높은 고유진동수는 이제는 중요한 고려사항이 아니지만, 모든 것이 동등할 경우엔 고유진동수가 높을수록 더 낫다.	1) 고유진동수를 최대로 하려면 최소 중량 가이드웨이, 즉, 트러스를 사용하라.
25	낙뢰 방호.	1) 가이드웨이를 지지대에 접지하고, 각 차량에서 전력 레일을 통한 가이드웨이까지의 접지 경로를 제공하라.
26	감전을 방지하라.	1) 가이드웨이 상부에 폭이 4 인치인 슬롯을 제외하곤 접촉이 어렵게 한다.
27	통신 와이어를 위한 공간. 무선 통신은 실용적이지만, 간섭에 영향을 받을 가능성이 더 크다. 게다가, 시스템은 필요한 주파수를 임차해야 하며, 이는 과중하게 비쌀 것이다.	1) 차량과 가이드웨이 통신용 누설케이블 설치를 위한 공간을 설계하라. 트러스 구조의 가이드웨이가 이렇게 하는 데에 특별히 필요한 것은 없다.

28	전자파 간섭을 최소화하라. 미국 연방 통신위원회는 주변환경 내 새로운 요소가 기존 전자장치를 간섭하지 않도록 요구한다. 모터나 PRT 차량 운전에서 전자파 잡음이 배출될 수 있고 통신시스템은 전자파 잡음의 영향을 받을 수 있다.	1) 전자파를 차폐하기 위해 가이드웨이 덮개 내부에 알루미늄 박막을 사용한다.
29	기물파괴행위나 파괴공작 가능성이 최소가 되게 하라.	1) 가이드웨이 덮개의 하부에 실용적으로 가능한 한 좁은 슬롯을 사용하라. 가이드웨이 상부는 틈이 거의 없어 이물질을 던져 넣기 어렵다. 2) 역을 적절히 조명하고 비디오로 모니터하라. 3) 역에서 가이드웨이로의 출입이 어렵도록 설계하라.
30	진동이나 소음이 생성되지 않아야 한다.	1) 모든 부품은 단단히 부착되어야 한다. 설계 단계 중에 진동시험을 반드시 수행해야 한다.
31	부식을 방지하기 위해 준비해야 한다.	1) 가이드웨이의 모든 강철 부분을 실외 강철 구조용으로 사용된 아연 기반 페인트로 도장해야 한다.
32	물이 누적될만한 장소가 없어야 한다.	1) 중심을 향해 아래쪽으로 경사가 지도록 커버의 바닥 부분을 설계하라.
33	외관이 주변에 적합하게 변할 수 있도록 설계해야 한다.	1) 합성재질의 덮개를 사용하여 주변 환경에 맞게 쉽게 채색되고 무늬를 넣을 수 있게 한다.
34	필요한 경우 보도를 제공하지만 대부분의 경우 사람이 가이드웨이 위를 걷는 것을 방지해야한다.	1) 가이드웨이 덮개의 상부가 측면을 향해 아래쪽으로 경사가 지도록 설계하라. 게다가, 덮개는 승객을 지지할 만큼 충분한 강도를 지닐 필요가 없다. 가이드웨이 위로 걸어 나가는 것이 사실상 불가능하도록 역을 설계하라.
35	댐핑(damping)에 대비하라.	1) 전단력(shear: 반대방향으로 평행하게 작용하는 힘)에 대비하여 가이드웨이 부품을 조립할 경우 주 세로보(stringer)에 관(tube)을 사용하라. 관사이에 사용된 재질이 진동을 방지하여 준다.
36	곡선 및 분기 구간이 직선 구간보다 더 어렵다; 따라서 어려운 구간이 쉽게 조립되도록 설계한다.	1) 트러스구조의 기본요소인 가로 U프레임의 쉬운 조립과 용접을 위하여 컴퓨터를 이용하라.
37	50년 동안 신뢰성이 보장되는 시스템을 설계하라.	1) 아연이 함유된 내부식성 페인트를 사용하라

붙임 B
설계 기준

수직 및 측면 설계 하중. 속도, 풍압 하중, 지진 하중에서 차량이 이동하기 때문에 생긴 동적 하중, 차량 제동으로 인한 세로 하중, 그리고 허용된 경우라면 지지대와 충돌한 거리의 차량으로 인한 하중을 반드시 고려해야 한다. Snyder, Wormley, 그리고 Richardson가 M.I.T. 기계공학부에서 시행했던 연구가 동적 하중에 관한 최상의 연구이다[Snyder, 1975]. 컴퓨터 연구에서, 이들은 다양한 속도와 다양한 운전간격에서 운행하고 지지대 간격이 다양한 가이드웨이 위로 주행하는 다양한 중량의 차량을 시뮬레이션했다. 단위가 없는 형태로 변형함으로써, 결과를 광범하게 사용할 수 있다. 이들의 결과를 연구한 결과 [Anderson, 1978a], 최소 운전간격이 짧을수록 동적 및 정적 편향 사이의 차이가 더 작다는 것을 알았고, 차량간의 간격이 0인 이론적 한계에서 동적 및 정적 편향은 동일하다는 것을 알았다. 1/2초의 최소 운전간격에서 운행되는 PRT 차량을 가정하면, 노선 속도에서 운행되는 차량의 최대 동적 가이드웨이 편향과 응력은 가이드웨이에서 앞차와 바싹 붙은 차량의 최대 편향 및 응력보다 더 작았다. 그러므로 가능한 최대 수직 하중은 일정하며 계산하기가 가장 쉽다. 하지만, 전폭(span)에서 각 차량의 적재하중이 최대일 가능성은 아주 작다. 빈 중량에 최대 적재하중 중량을 더하고 이를 2의 평방근으로 나눈 것을 차량의 최대 중량으로 취하는 것이 더 현실적이다. 이를 제곱평균(root mean square) 또는 rms 하중이라 하라. 따라서 전폭에서의 설계 하중은 다음과 같을 것이다.

1) 전폭에서 앞차와 바싹 붙은 RMS 부하 차량 + 30 m/s (70 mph) 옆바람.
2) 차량은 없으며 80 m/s (180 mph) 옆바람.

알려진 바람-터널 데이터를 기반으로 하여 항력계수를 줄이면 가이드웨이의 최대 풍압 하중은 상당히 감소될 수 있다 [Hoerner, 1965], [Scraton, 1971].

1. 세로 하중. 기준의 기반은 모두 동시에 0.5 g로 정지하는 최소 운전간격에서 운행되는 차량이다. 이런 하중은 최대 풍압 하중보다 더 작다.

2. 지진 하중. 지진으로 인해 측정된 최대 수평 가속은 논쟁거리다. 로스앤젤레스 지진

직후, 1994년 3월의 마지막 주에 San Diego에서 열린 미국 공병협회 (Society of American Military Engineers) 회의 프레젠테이션에서, 로스앤젤레스 고속도로 재건 책임자로 배치된 한 육군 소장은 측정된 최대 수평 가속은 1.6g이었다고 말했으며, 이는 어떤 발표문에서의 더 높다. 그럼에도 불구하고, 최종 결과는 고가 구조가 더 가벼우면 가벼울수록, 그런 하중을 견디도록 하는 기초를 설계하는 것이 더 쉽다는 것이다. 필자가 설계한 가이드웨이의 수평 가속도는 0.86 g였으며 이는 80 m/s (180 mph)의 풍압 하중과 동등하다. PRT 가이드웨이는 현지 지진관련 법규에 맞게 설계되어야 하며, 이는 지역마다 상당히 다르다. 지진이 발생하기 쉬운 지역에서는, 단단하지는 않지만 수평 지진 충격 하중에 유연하게 대응하며 흡수할 수 있는 토대로 구조물이 설계되기도 한다. 이와 유사하게, 갑작스런 수평 가속 충격 하중을 없애기 위해 하부 말단 근처에 무거운 스프링을 부착하여 PRT 가이드웨이 지지대의 기초를 설계할 수 있다.

3. 설계 변형력. 설계자는 선정된 자재에 대해 표준 값을 사용해야 한다.
   a. 구조물의 수명을 위해 부식 방지를 명기하라.
   b. 물 누적을 방지하라.
   c. 부식성인 새똥 청소를 계획하라.
   d. 명기된 수명 동안에 자재의 약화가 설명되도록 설계하라.
   e. 열응력을 줄이도록 설계하라.

4. 최대 허용가능 편향. AASHTO 교량 표준은 전폭/800이었지만, 강철 교통 가이드웨이에 대한 표준은 전폭/1000이다.

5. 최소 허용가능 전폭. 시카고 PRT 설계 연구 결론: 중앙 지지대를 사용할 수 있는 커브의 경우를 제외하고는 28 m (90 피트).

6. 승차 안락함
   a. 가속도와 가속구간의 빈도수에 대해서는 ISO 표준을 준수하라.
   b. 정상 및 비상 운행에 대해서는 ISO 표준인 허용 가능한 일정한 가속과 jerk를준수하라, 이는 ASCE APM 표준에서도 제공된다.
   c. 공진을 방지하기 위해 차량의 Crossing frequency는 가이드웨이의 고유진동수와 달라야 하며, 이는 비동기 제어로 달성된다.

d. 경사각 (bank angle)을 교대로 제한하여 멀미 건수를 줄여라. ASCE APM 표준에는 6°의 경사각도 와 턱의 각도가 명기되어 있다. ISO 표준은 없지만, 틸팅 대차 (tilting bogies)를 이용한 스웨덴 철도의 경험을 보면 멀미 때문에 곡선에서의 속도를 제한하였다.

7. 시스템 수명. 시카고 RTA는 고정 시설에 대해 50년을 명기했다.

8. 미국장애인법 (ADA) 준수.
   a. 보호자와 휠체어를 함께 수용해야 한다.
   b. 시카고 연구의 경우, 휠체어의 장애우가 앞을 향한 채로 차량에 접근할 수 있어야 한다는 점을 강력히 요구했다.
   c. 반드시 시각 및 청각 장애용으로 제공되어야 한다.

9. 상세한 현장 특화 계획 연구를 기반으로 하여 설계 프로그램을 시작할 때 최소 시간간격을 명기할 필요가 있다. 통상 그랬던 경우와 같이, 그렇지 않다면 시스템 어플리케이션 범위는 제한될 수밖에 없을 것이다. 많은 독립적인 연구를 기반으로 하여, 우리는 최소 운전간격을 1/2초로 설계했다. [Anderson, 1994]

10. 예상된 환경에 대한 설계
    a. 정해진 누적된 비율의 얼음, 눈, 비.
    b. 주위 온도 범위, 전형적으로 -40℃ ~ +55℃.
    c. 번개 방호.
    d. 태양.
    e. 먼지, 모래, 염분.
    f. 둥지를 지은 벌, 새, 다람쥐 등.
    g. 지진 - 현장에서 최대 예상 수평 가속에 맞게 설계하라.
    h. 화재. [NFPA 130]
    i. 지지대와 충돌한 차량. [Anderson, 2006, 붙임 A]
    j. 다른 도시 구조물로 인한 시스템의 시야제한.
    k. 맑은 겨울 밤하늘로 인해 전력레일 위에 쌓인 얼음.

11. 속도 범위. 거리 단위당 승객당 비용을 최소화하기 위해 운행 속도를 선정하라. 회전 반경, 정지거리, 동역학 에너지, 그리고 대기 저항력을 극복하기 위해 필요한 에너지는 모두 속도의 제곱에 비례한다; 그리고 그 에너지 사용은 유선형, 낮은 도로저항, 그리고 추진 효율에 따라 다르다. 허용 가능한 안락한 승차를 위한 최대 운행 속도는 가이드웨이 고유진동수에 비례하며, 이는 가이드웨이 강성과 지지대의 유형에 따라 다르다는 점을 고려하라. [Anderson, 1997]

12 비용. 설계팀은 요금으로 회수할 수 있을 만큼 비용을 충분히 낮춰야 한다, 즉, 시스템 설계는 민간 기업에게 이익이 되어야 한다. 강력한 시스템 엔지니어링 노력이 있어야 그런 결론에 도달할 수 있지만, 이런 목표를 위해 노력하면 미래가 보장될 것이다.

13. 가이드웨이 내에 필요한 진동감폭(vibration damping)이 적도록 하라.

14. 소음은 거리에 있는 자동차 소음보다 더 작아야 한다.

15. 발생된 전자기잡음이 기존장치를 간섭해선 안된다.

16. 통신수단의 수용이 가능해야 한다.

17. 확장. 시스템이 무한정으로 확장될 수 있도록 설계하라.

18. 기물파괴행위와 파괴공작의 영향을 최소화하도록 설계하라.
    a. 시스템을 고의적으로 파괴하는 방법과 이를 방지하는 방법을 연구하라.
    b. PRT 시스템은 고가여선 안 된다.

부록 2 : PRT 시뮬레이터 GUI 설명서

1. PRT 시뮬레이터 사용설명

가. 화면설정

(1) 메뉴

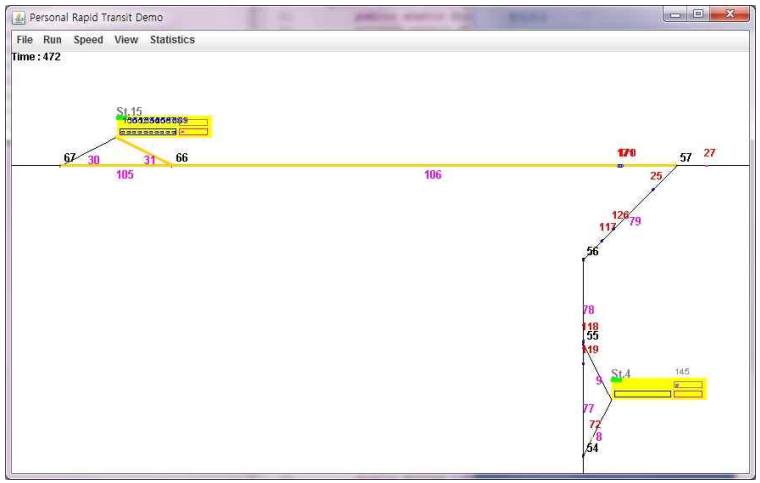
- 화면 상단에 위치

(2) Time

- 시간프레임표시
- 각 시간프레임에 해당하는 차량위치가 화면에 표시됨.

(3) 화면구성요소구분

- 궤도(트랙) : 검은 실선(단, 사고가 난 궤도는 오렌지색 굵은 선으로 표시)

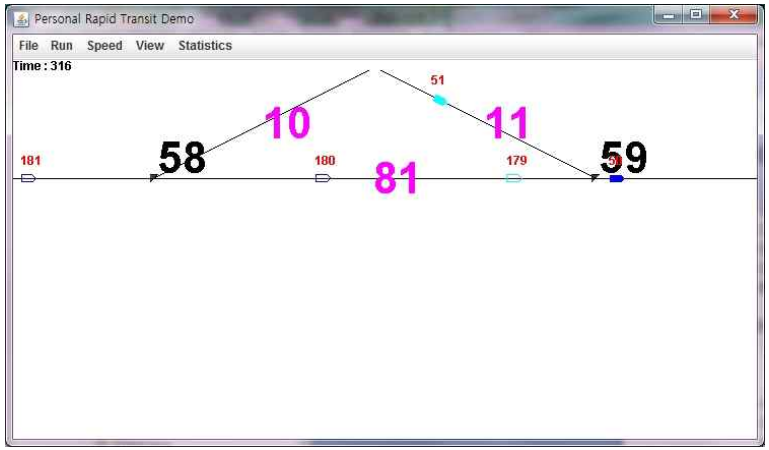


<그림 부록.2.1> 트랙의 예 (오렌지색 굵은선으로 사고구간임을 알려줌)

- 노드 : 검정색 블록
- 노드번호 : 검정색 숫자
- 트랙번호 : 분홍색 숫자

- 역 : 노란색 박스
- 역 번호 : 회색 숫자
- 차량 : 진행방향이 뾰족한 오각형. 승객이 탑승한 경우 색이 채워진 오각형이며, 탑승하지 않은 경우 외곽선만 으로 표시됨(다음과 같이 모드 별로 각각 다른 색상으로 표시됨).

  - 보통(normal)모드 : 파란색
  - 합류(merging)모드 : 하늘색
  - 접근(approaching)모드 : 오렌지색
  - 분리(diverging)모드 : 자주색
  - 대기(waiting)모드 : 노란색
  - 정지(stopped)모드 : 빨간색
  - 승차(boarding)모드 : 녹색
  - 하차(unboarding)모드 : 분홍색
  - 오류(error)모드 : 흰색



<그림 부록.2.2> 차량모양 및 모드에 따라 다른 차량색상의 예

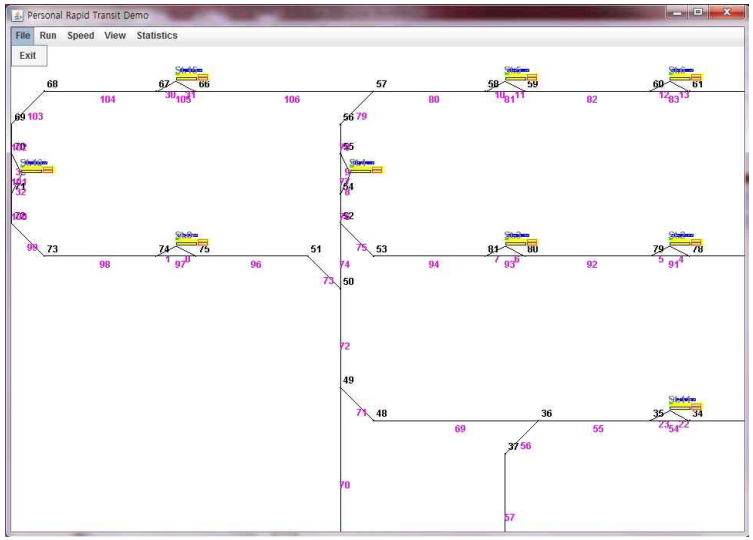
- 차량번호 : 빨간색 숫자
- 승객 : 역 안에 회색 원으로 표시
- 승객번호 : 승객 위에 회색 숫자

나. 메뉴구성

- 메뉴는 다음과 같이 구성됨.
  - File : 파일
  - Run : 실행
  - Speed : 화면표시속도
  - View : 화면표시배율
  - Statistics : 통계 및 분석자료

다. 파일

- [File] → [Exit]를 선택하면 모든 창이 닫히고 프로그램이 종료됨.



<그림 부록.2.3> 파일메뉴

라. 시뮬레이션 실행/정지

(1) 시뮬레이션 실행

- [Run] → [Step]를 선택하면 다음 시간 프레임의 결과를 보여줌.
- 또는, 키보드의 → 화살표를 누르면 동일한 결과를 얻음.

(2) 시뮬레이션 정지

- 시뮬레이션을 스텝으로 실행시켰을 시에는 단위 시간의 프레임만 보여주고 정지하므로 별도의 정지 기능은 필요하지 않음.

마. 시뮬레이션 자동실행/정지

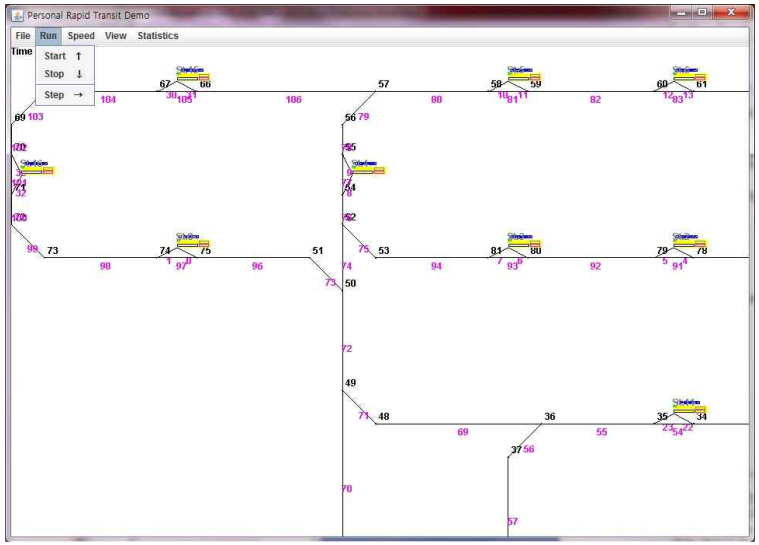
(1) 시뮬레이션 실행

- [Run] → [Start]를 선택하면 데이터가 종료될 때까지 연속으로 다음 시간 프레임의 결과를 보여줌. 또는 키보드의 ↑화살표를 누르면 동일한 결과를 얻음.

  ※ 시간프레임 설정: 1초

(2) 시뮬레이션 정지

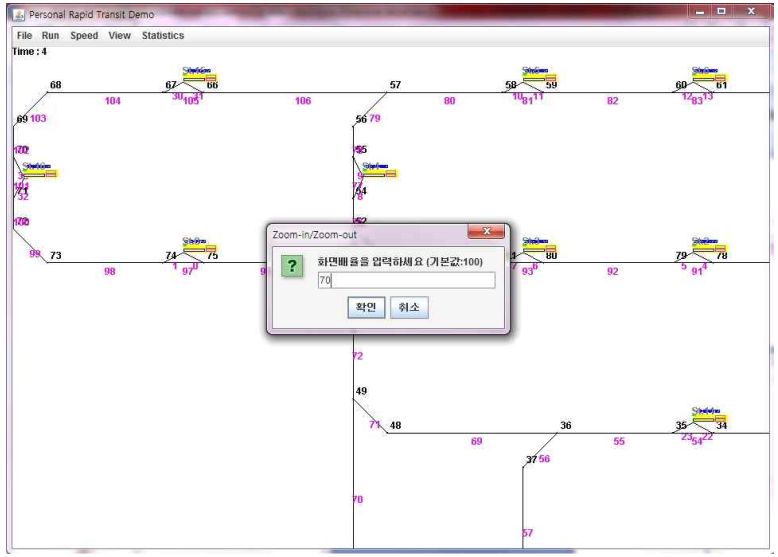
- [Run] → [Stop]를 선택하면 시간 프레임의 결과 표시를 멈춤. 또는 키보드의 ↓ 화살표를 누르면 같은 결과를 얻음.



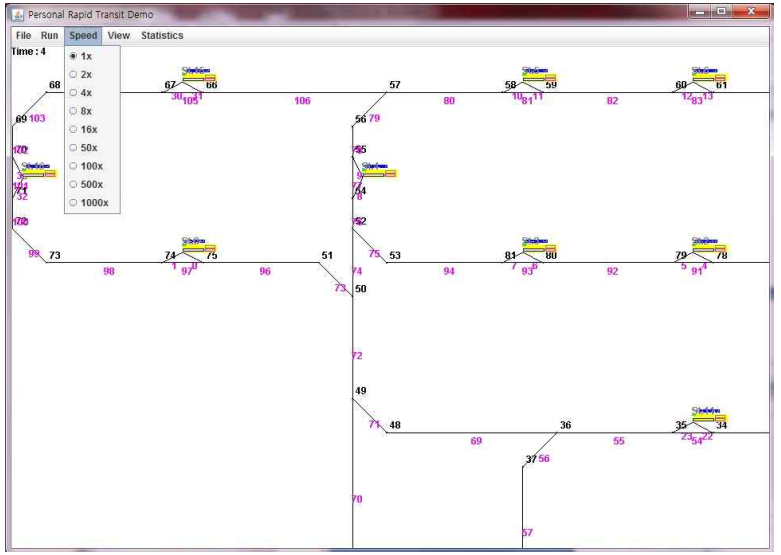
<그림 부록.2.4> 실행메뉴

바. 화면표시배율조정 (줌인/줌아웃)

- 화면 배율을 조정하면 현재화면의 중심을 기준으로 화면을 확대/축소함.
- 화면확대(줌인)
  - [View] → [Zoom In/Zoom Out]를 선택하면, 그림 부록.2.5와 같은 배율입력용 윈도우가 나타남.
  - 여기에 기본값 100보다 큰 값(100 - 한도 없음)을 입력하고 승인버튼을 누름.
  - 또한, 마우스 휠을 위 방향으로 움직이면 줌인 됨.
- 화면축소(줌 아웃)
  - [View]를 선택하면 그림 부록.2.5와 같은 배율입력용 윈도우가 나타남.
  - 여기에 기본값 100보다 작은 값(0 - 100)을 입력하고 승인버튼을 누름.
  - 또한, 마우스 휠을 아래방향으로 움직이면 줌아웃 됨.



<그림 부록.2.5> 화면표시배율 설정



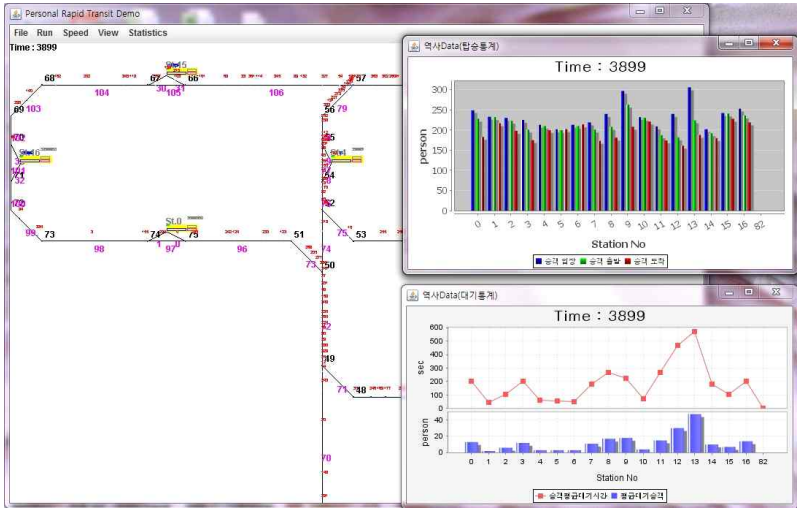
<그림 부록.2.6> 화면표시속도 설정

사. 화면표시속도설정

- 시뮬레이션 데이터를 화면에 표시하는 속도를 설정하며, 자동실행 시에만 유효함.
- 기본속도는 1초(1000 ms)이며, 설정 가능한 속도는 1x, 2x, 4x, 8x, 16x, 50x, 100x, 500x, 1000x로 지정됨(1x: 1000 ms, 2x: 500 ms, 4x: 250 ms, 8x: 125 ms, 16x: 62.5 ms, 50x: 20ms, 100x: 10ms, 500x: 2ms, 1000x: 1ms).
- 설정방법
  - [Speed]를 선택하면 그림 부록.2.6과 같은 메뉴 리스트가 표시됨. 리스트상에서 속도를 선택함.

아. 통계 및 분석자료 화면표시

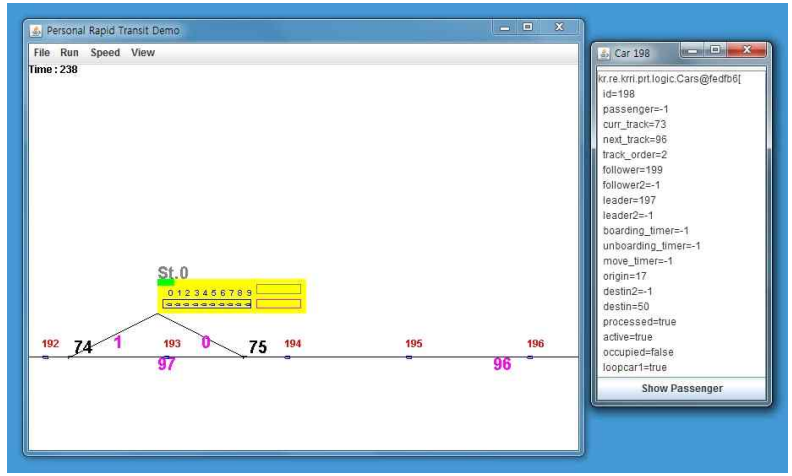
- [Statistics] → [역사Data/탑승통계]를 선택하면, 각 역의 탑승통계를 보여줌.
- 시뮬레이션이 완료되지 않은 경우, 즉 실행 중에 통계를 선택할 경우에는 해당 시간까지의 통계를 보여줌.
- 일단 그래프를 표시하면 이후 프로그램이 계속 실행되더라도 통계 데이터가 실시간으로 변화하지는 않음. 만약 새로 통계를 낼 필요가 있는 경우, 이 메뉴를 다시 선택하면 별도의 창이 생성되면서 해당 시간까지의 그래프를 보여줌.
- [Statistics] → [역사Data/대기통계]를 선택하면 각 역의 대기통계를 보여줌.



<그림 부록.2.7> 통계그래프

자. 객체정보표시 (차량, 승객, 역)

- 화면 위에 표시되는 차량, 승객, 역의 정보를 표시함.
- 표시방법
  - 화면상의 역 왼쪽 위의 녹색버튼 차량 또는 승객을 마우스로 클릭하면, 그림 부록.2.8과 같이 별도의 정보표시용 윈도우가 생성됨.
  - 복수개의 객체를 클릭할 경우 복수개의 정보표시 창이 뜸.
  - 차량의 경우 정보 창 하단에 “Show Passenger”라고 표기된 버튼이 있음. 이 버튼을 누르면 승객이 타고 있는 차량에 한해 별도의 창이 열리고 승객정보가 표시됨.



<그림 부록.2.8> 객체정보표시(우측: 객체정보 창)

차. 로그정보

- 로그내용
  - 프로그램실행상의 각종 이벤트를 1일 단위의 파일로 출력
- 로그형식
  - 로그모드 (라이브러리 실행 클래스명: 행수) 날짜 이벤트

    예) DEBUG(AWT EventQueue 0 PrtLevelFrame.java[actionPerformed]: 125) [2010 10 18 13:22:59, 967] - start pressed
- 로그파일 위치
  - logs/logfile.log

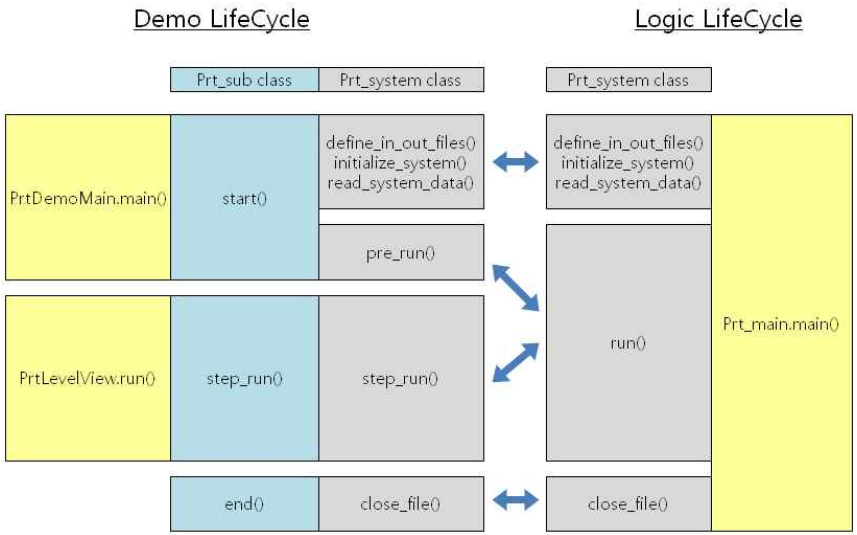
2. 개발내용

- PRT 시뮬레이션 프로그램 개발에서 중점을 두었던 내용은 다음과 같음.
  - 엔진 어플리케이션과 GUI 어플리케이션의 통합연동
  - 엔진 개발 진행에 따른 GUI 어플리케이션의 개선 보완
  - 통계 데이터 수집 및 그래프 표시

가. 엔진과 GUI의 다이렉트 인터페이스

- 본 과제에서는 엔진의 데이터를 GUI에서 실시간으로 접근하여 처리하고 있으며, 어플리케이션을 실행시키는 방법은 두 가지가 있음.

- Logic(엔진) 만을 실행 (화면이 나타내지 않는다)
- Demo(GUI)와 엔진을 동시에 구동 (Demo를 실행하면 자동으로 Logic이 구동된다. 실시간으로 화면에 표시된다)



<그림 부록.2.9> 어플리케이션의 Life Cycle

- 그림 부록.2.9는 어플리케이션 실행 시 메소드의 흐름을 나타냄. 회색으로 채워진 박스 부분을 보면 Logic을 구동하거나 Demo를 구동하거나 상관없이 결국 동일한 동작을 수행함을 알 수 있음.
- Logic의 구동 루틴이 변경될 경우, Demo의 대응하는 루틴도 같이 수정해야 동일한 동작이 수행됨.

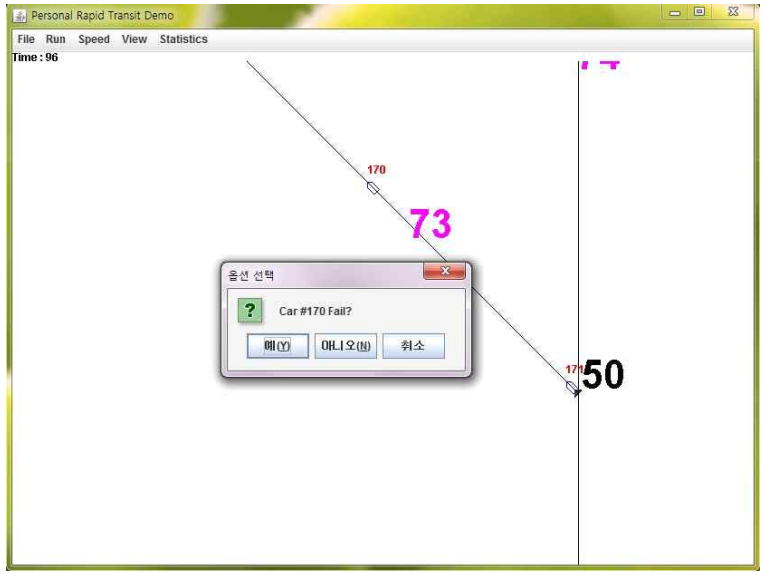
나. 객체정보창

- 차량, 승객, 역의 정보를 별도의 창을 열어서 표시함.

다. 역의 세부표시

- 역 내부에는 승강장, 대기차량, 대기승객, 버튼 등의 추가정보가 표시됨. “붙임 A. GUI클래스 설명”의 “19) StationNode 클래스”에 자세한 내용 기술

라. 충돌모드



<그림 부록.2.10> 충돌모드의 예

- 차량이 충돌, 고장 등 비정상적인 상황에 처한 경우를 시뮬레이션하기 위한 기능
- 주행중인 차량에서 마우스의 오른쪽 버튼을 클릭하면, “Car #xxx Fail?” 이라는 메시지가 뜸. “예”를 누르면 해당차량이 충돌상태로 변함.

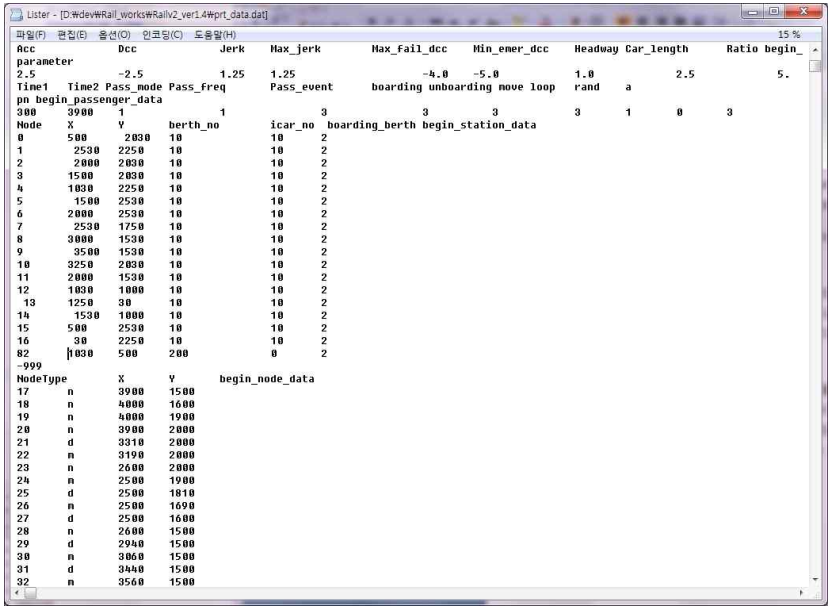
마. 초고속모드

- 처리할 데이터가 점점 많아지면서 원하는 결과를 얻기에 너무 많은 시간이 걸리게 됨. 이에 최대 1000배속에 달하는 초고속모드 시뮬레이션이 가능하도록 하여 생산성 향상을 도모함.

바. 통계 기능

(1) 입력 데이터

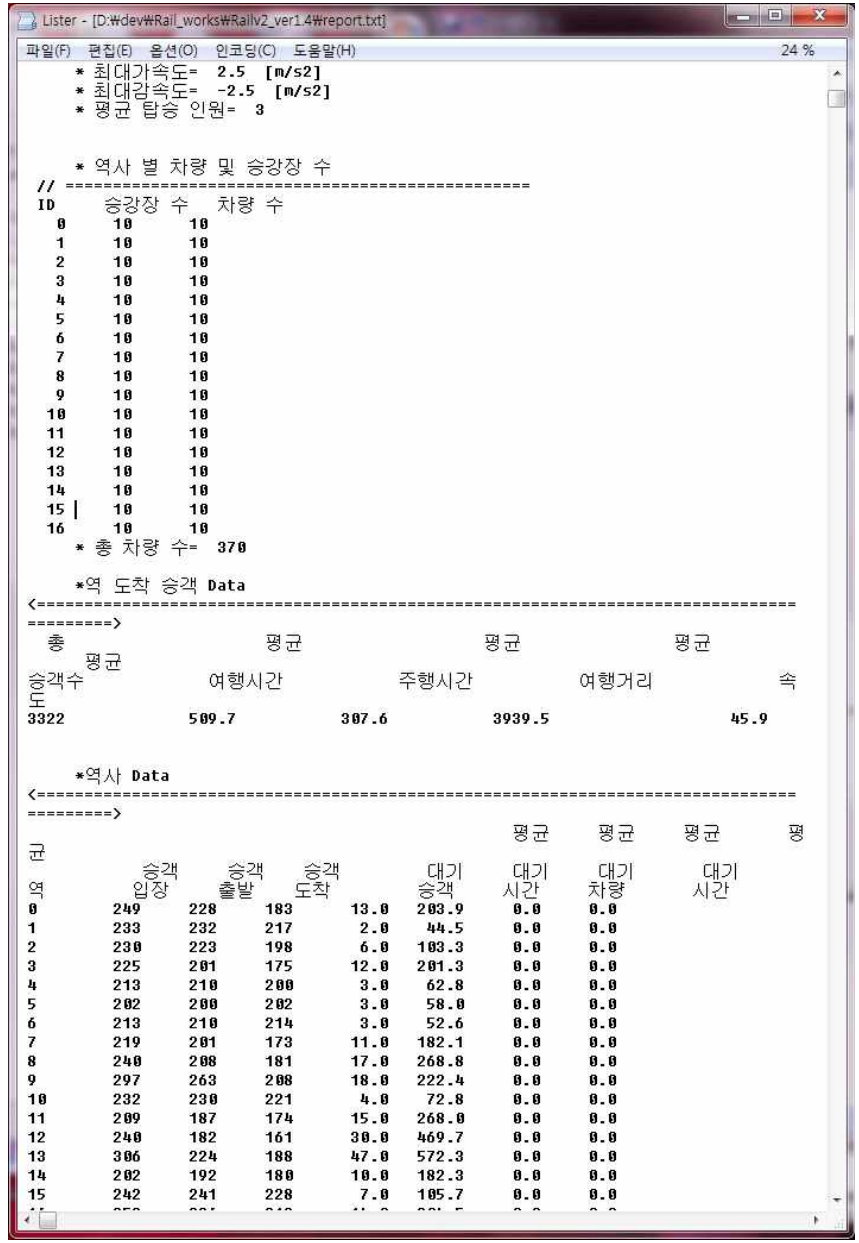
- 시뮬레이터의 실행 및 분석을 위한 입력파일로 “prt_data.dat”를 사용하며, 이 파일에는 궤도정보, 상태, 배치, 차량 및 승객의 이동 등의 각종 정보가 기재됨.



<그림 부록.2.11> 입력데이터의 예

(2) 통계분석 생성파일(report.txt)

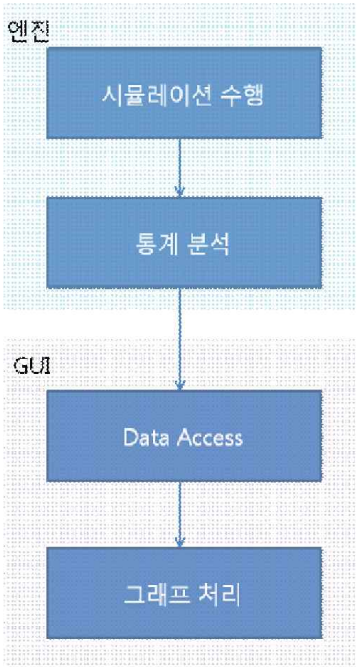
- 엔진에서 생성하는 통계 분석 파일로서 시뮬레이션이 완료되면 텍스트 데이터가 자동으로 생성됨.



<그림 부록.2.12> report.txt의 예

(3) 통계 프로세스

- 그림 부록.2.13에 통계 처리 과정을 플로우 차트로 나타냄.



<그림 부록.2.13> 통계 플로우 차트

(4) 시뮬레이션 수행

- 엔진에서 입력 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행함. 기본적으로 시뮬레이션이 최종 완료되었을 때 통계 분석을 처리해야 정확한 결과를 얻을 수 있음.

(5) 통계 분석

- 입력 데이터를 시뮬레이션 하여 발생하는 많은 양의 데이터를 분석하기 위해 엔진에서 사용하는 모듈은 Prt_system 클래스의 analyze_system() 메소드임.
- 엔진의 시뮬레이션과 GUI의 화면처리는 실시간으로 일어나는데 반해, 통계 분석은 사후에 처리함.
- 통계 처리에 사용되는 데이터는 다음과 같음.
  - 총 승객수
  - 평균 여행시간
  - 평균 주행시간
  - 평균 여행거리
  - 평균 속도
  - 입장승객수
  - 도착승객수
  - 출발승객수
  - 승객대기시간
  - 대기승객수
  - 차량대기시간
  - 대기차량수

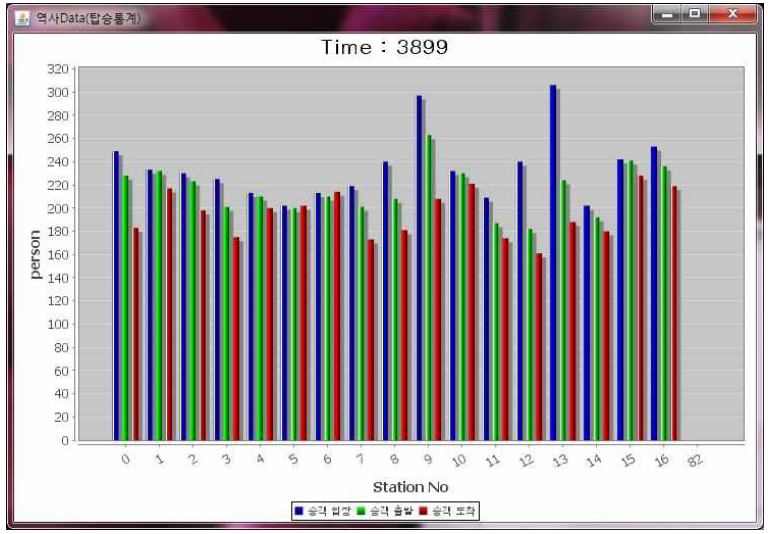
(6) Data Access

- 엔진에서 분석한 통계 자료를 GUI에서 이용해야 하는데, GUI에서 직접 Prt_system 클래스의 각종 변수에 접근하는 방법을 사용함.
- GUI는 반드시 analyze_system() 메소드가 호출된 상태에서 엔진에 접근해야 함. 그렇지 않은 경우 제대로 된 자료를 확보할 수 없음.

(7) 통계 그래프 처리

- 분석한 데이터를 효과적으로 보여주기 위해 그래프를 이용하여 시각화함.
- 그래프는 JFreeChart라는 자바 라이브러리를 사용하였는데 데이터의 특성에 따라 막대 그래프, 꺾은선 그래프를 이용하여 자료해석의 편이성을 도모함.
- JFreeChart의 사용을 위하여 두개의 라이브러리를 프로젝트에 추가해야 하는데 최신버전의 라이브러리는 다음과 같음.
  - jfreechart 1.0.13.jar
  - jcommon 1.0.16.jar

(8) 역 별 탑승통계 그래프



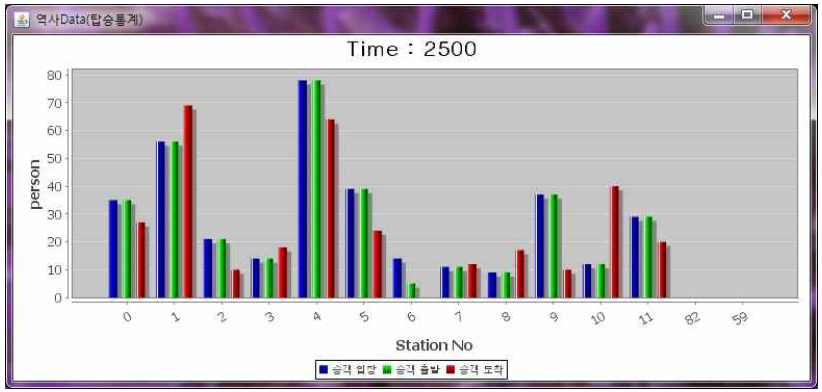
<그림 부록.2.14> 역 별 탑승통계 (A지구, 3899초)

- 각 역 별로 입장승객, 출발승객, 도착승객의 숫자를 표시함.
- 이를 위해 사용된 엔진측 변수는 다음과 같다.
  - no_passenger_enter
  - no_passenger_leave
  - no_passenger_arrive

- 탑승통계 그래프는 GUI의 Chart1 클래스에서 담당함.
- Chart1 클래스는 ApplicationFrame을 상속하여 구현하는데, 이는 JFrame의 일종으로 독립적인 윈도우를 생성하고 윈도우의 크기조절에 따라 내부 그래프의 크기가 자유자재로 조절됨.
- 탑승통계는 막대그래프로 표시함. 막대그래프를 생성하기 위해 JFreeChart의 createBarChart()를 호출함.
- BarChart는 사용법이 단순하여 폭넓게 사용되는 형태의 그래프임. X축 및 Y축에 라벨을 붙이고 전체 타이틀을 지정함.
- X축의 숫자는 역 번호(Station No)를 나타내고, Y축의 숫자는 승객수(person)를 나타냄.
- 그래프에 보여줄 데이터는 JFreeChart의 CategoryDataset 형태로 전달함.

- 각각의 막대 그래프는 색깔에 따라 다음을 의미한다.
  - 파란색 : 입장 승객수
  - 녹색 : 출발 승객수
  - 빨간색 : 도착 승객수

- 상단의 Time은 해당 시간만큼의 데이터를 분석하여 통계를 냈다는 의미를 지님. 그림 부록.2.15를 보면 2500초 동안 시뮬레이션 한 결과를 바탕으로 통계를 냈음을 알 수 있음.

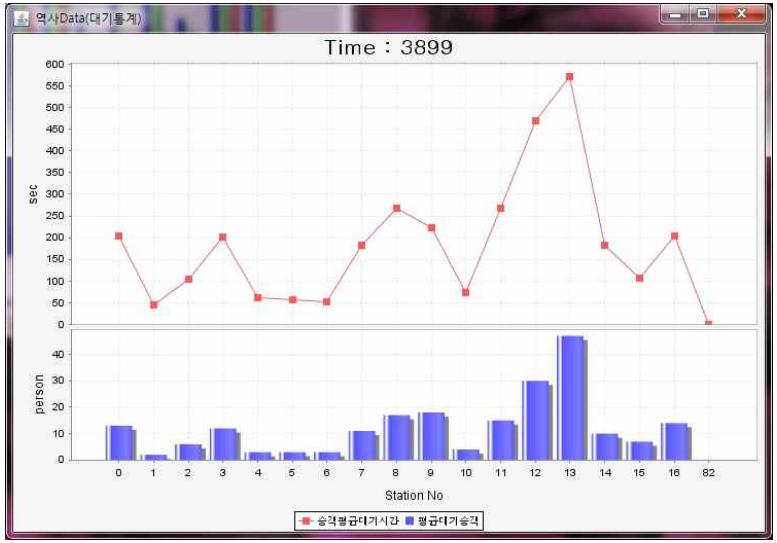


<그림 부록.2.15> 역 별 탑승통계 (B지구, 2500초)

(9) 역 별 대기통계 그래프

- 각 역 별로 대기승객의 통계를 그래프로 표시함.
- 이를 위해 사용된 엔진측 변수는 다음과 같음.
  - ave_passenger_wtime
  - ave_wperson_no

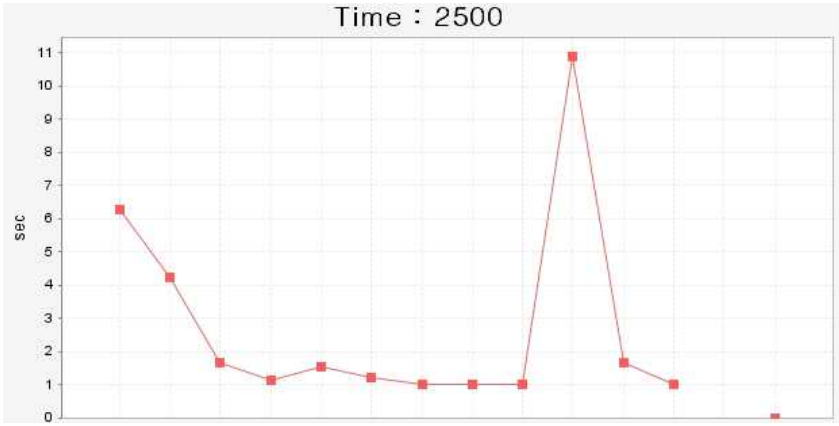
- 대기통계 그래프는 GUI의 Chart2 클래스에서 담당함.
- Chart2 클래스 또한 ApplicationFrame을 상속하여 구현되므로 창의 크기조절에 따라 내부 그래프의 크기조절이 가능함.



<그림 부록.2.16> 역 별 대기통계 (A지구, 3899초)

- 대기통계는 꺾은선그래프와 막대그래프를 혼용해서 사용하는 혼합그래프임. 두 개의 그래프가 한 개의 창에 표시되므로 두 개의 CategoryDataset이 필요함.
- 꺾은선그래프를 그리기 위해 승객평균대기시간을 첫번째 CategoryDataset으로 만들어야 하고, 막대그래프를 위해 평균대기승객을 두번째 CategoryDataset으로 생성해서 JFreeChart에 넘겨야 함.
- X축의 숫자는 역 번호를 나타냄.
- Y축에는 두 개의 그래프가 존재하는데, 위쪽의 빨간색 꺾은선 그래프는 승객의 평균대기시간을 나타내고, 아래쪽의 파란색 막대그래프는 평균대기승객의 숫자를 나타냄.
- 한편 JFreeChart에서 한글을 표시하려면 깨지는 현상이 발생함. 이는 기본으로 설정된 폰트가 한글을 지원하지 않기 때문임. 한글 사용을 위해 createChart() 메소드에 다음과 같은 루틴을 추가함.
  - chart.getTitle().setFont(new Font("돋움", Font.BOLD, 20));
  - chart.getLegend().setItemFont(new Font("돋움", Font.PLAIN, 10));

- Chart1과 Chart2 양쪽에 동일하게 적용해주어야 함.

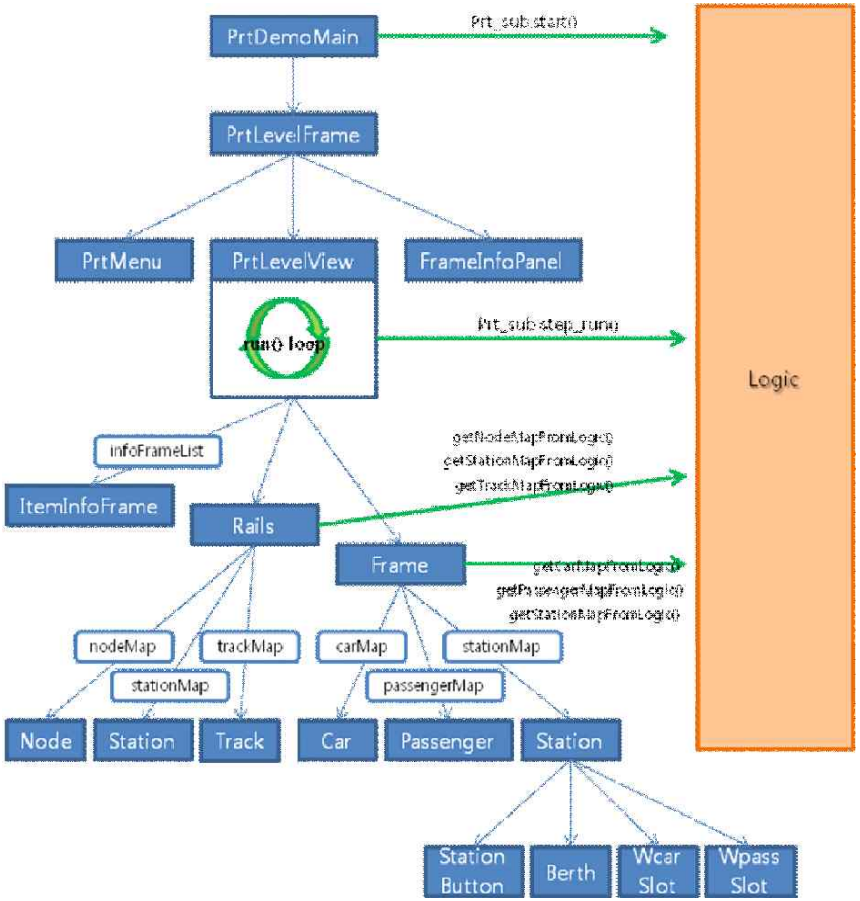


<그림 부록.2.17> 역 별 대기통계 중 평균대기시간 부분 (B지구, 2500초)

사. 내부동작 설명

(1) GUI 어플리케이션 구동

- GUI 어플리케이션을 구동하려면 PrtDemoMain.main( )을 실행함.
- 다음 그림 부록.2.18과 같은 과정을 거쳐 프로그램이 실행되고 최초화면이 표시됨.



<그림 부록.2.18> Launch Flow

(2) Run loop

- 본 어플리케이션은 데이터가 실시간으로 변화하고, 그에 따라 최신 데이터를 반영하고 처리하고 화면에 보여줘야 하므로 run loop를 사용함.
- Run loop는 주기적으로 반복 실행되면서 이벤트를 모니터링하고 처리하는 루틴을 의미함.
- 이는 자바의 Thread를 통해 구현되는데 PrtLevelView에 살펴보면 Thread 객체와 Runnable 인터페이스의 구현을 볼 수 있음.
- PrtLevelView.run()이 run loop임.
- run loop에서 스텝 실행과 화면을 주기적으로 refresh 함.
  - stepRun()
  - repaint()
- Thread 는 start()이후 run() 이 불리고, sleep(밀리초) 만큼 쉬었다가 다시 run() 되는 것을 반복함.

  Thread.start() → run() → sleep → run() → sleep → run()

(3) 스텝 실행

- 엔진을 홀로 구동할 때는 0초부터 마지막 시간까지 끊김 없이 실행함.
- 그러나, GUI를 통해 엔진을 구동할 때는 화면상에 나타날 시간에 해당되는 데이터만 처리함. 이를 스텝실행이라고 함.

(4) 화면의 주기적인 갱신

- 실시간 동작에 따라 주기적으로 화면을 다시 그려줘야 하는데, 크게 FrameInfoPanel과 PrtLevelView가 이에 해당함.
- 앞서 설명한 run loop 안에서 repaint() 를 호출하면 자동으로 paint()가 호출되어 화면을 갱신하여 표출함.
- PrtLevelView에서의 화면 갱신은 다음과 같음.

```
run()
  ↓
repaint()
  ↓
paint()
  ↓
drawFrame()
```

↓

drawTrack(): node, station, track 그리기
drawStation(): stationButton, berth, wcarSlot, wpassSlot 그리기
drawCar(): car 그리기

- 차량, 역, 승객 정보가 표시되는 ItemInfoFrame의 경우, paint() 메소드에서 infoFrameList에 등록된 항목이 있을 경우에 화면이 갱신됨.

(5) 좌표계

- 엔진에서는 좌표계의 원점이 왼쪽 하단부이지만, 자바 AWT/Swing에서는 좌표계의 원점이 왼쪽 상단부임. 둘 사이에 차이를 맞춰주기 위해서는 y좌표에 (-1)을 곱해주어야 함.

(6) 평행이동 (translate)

- translate는 좌표계를 평행이동 시키는 것을 의미함.
- PrtLevelView 화면을 잡고 드래그하면 화면을 상하좌우로 이동시킬 수 있음(큰 캔버스에서 현재 보이는 영역을 옮기는 개념).
- mousePressed()에서 화면을 잡고, mouseDragged()에서 화면 이동을 추적하며, mouseReleased()에서 최종적으로 화면을 이동함.

(7) 키 이벤트 처리 (PrtLevelView)

- PrtLevelView 에서 키 이벤트를 처리함.
- KeyListener 인터페이스를 구현함.
- addKeyListener()로 핸들러를 등록하면 키 이벤트를 모니터하게 됨.
- 키 입력이 발생하면 핸들러의 keyPressed() 메소드가 자동으로 호출되고 여기에서 각 키입력을 처리함.

(8) 마우스 이벤트 처리 (PrtLevelView)

- ViewerMouseListener 에서 마우스 클릭과 드래그 이벤트를 처리함.
- ViewerZoomHandler 에서 마우스 휠 이벤트를 처리함.
- 마우스 클릭과 관련된 항목들은 다음과 같음.
  - addMouseListener(): 마우스 클릭 이벤트 핸들러 등록
  - ViewerMouseListener: 마우스 클릭 이벤트 핸들러(MouseAdapter 클래스를 상속)
  - mouseClicked(): 제자리에서 마우스 버튼을 눌렀다 띄면 호출되는 메소드. 객체

정보 창(ItemInfoFrame) 팝업을 위해 infoFrameList에 등록
  - mousePressed(): 마우스 버튼을 눌렀을 때 발생
  - mouseReleased(): 마우스 버튼을 띄었을 때 발생

- 마우스 드래그 관련 항목들은 다음과 같음.
  - addMouseMotionListener(): 마우스 이동 이벤트 핸들러 등록
  - ViewerMouseListener: 마우스 이동 이벤트 핸들러. MouseMotionListener 인터페이스 구현
  - mouseDragged(): 드래그 이벤트 발생시 호출

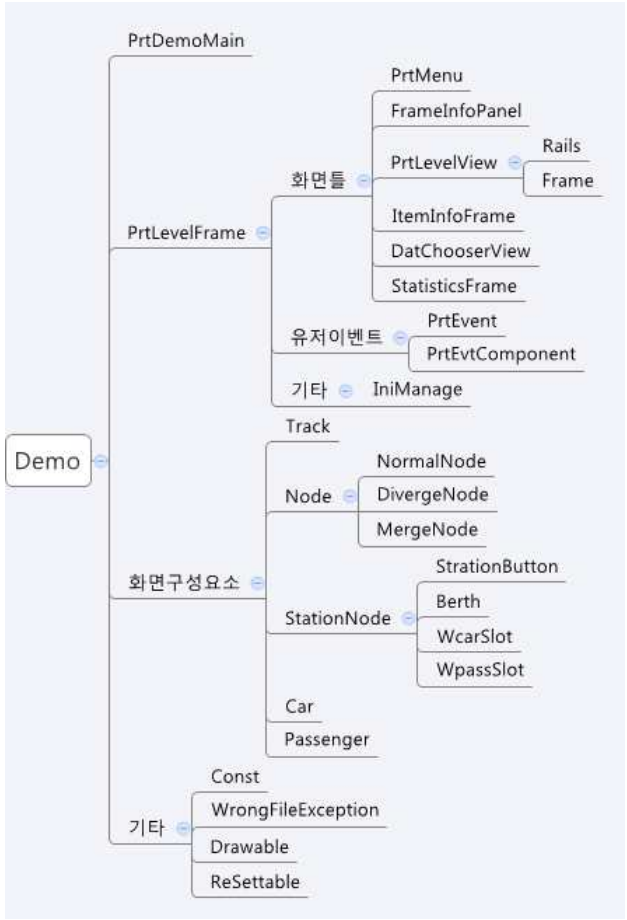
- 마우스 휠 관련 항목들은 다음과 같음.
  - addMouseWheelListener(): 마우스 휠 이벤트 핸들러 등록
  - ViewerZoomHandler: 마우스 휠 이벤트 핸들러. MouseWheelListener 인터페이스 구현
  - mouseWheelMoved(): 휠 이벤트 발생시 호출됨. 현재 마우스 포인터를 기준으로 줌 기능

(9) 메뉴 선택시 이벤트 처리

- PrtMenu에서 정의된 각 메뉴를 선택(action)하면 PrtLevelFrame.actionPerformed()에서 처리됨.
- 이중 일부 동작은 PrtLevelView에서 처리할 필요가 있는데, 이 경우 사용자 정의 이벤트를 이용해서 넘겨줌.
- PrtEvent 클래스와 PrtEvtComponent 클래스가 사용자 정의 이벤트를 처리하기 위한 모듈임.
- PrtLevelFrame.addPrtView()를 보면 evtManager.addPrtListener(prtView)와 같이 PrtLevelView를 이벤트 핸들러로 등록함을 알 수 있음.
- MENU_START, MENU_STOP, MENU_STEP_FORWARD, MENU_ZOOM 등은 사용자 정의 이벤트로 전환되어 PrtLevelView.processPrtEvent()에 전달되고 처리됨.

붙임 A. GUI 클래스 설명

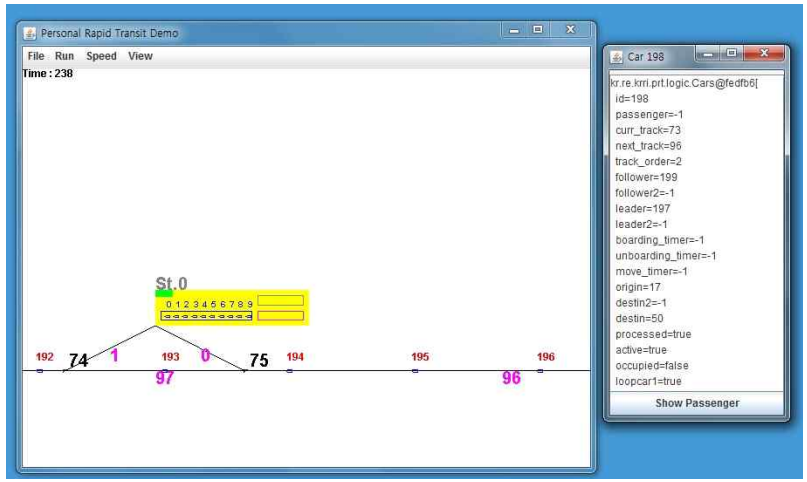
- GUI 어플리케이션의 클래스들은 그림 부록.2.19와 같이 분류할 수 있음.



<그림 부록.2.19> 클래스 트리 (기능에 따른 분류)

(1) PrtDemoMain 클래스

- GUI 어플리케이션의 클래스들은 그림 부록.2.20과 같이 분류됨. GUI 어플리케이션의 최초 시작점, 버전넘버가 삽입됨. 예를 들어, 최신버전이 1.3이면 PrtDemo1_3Main과 같이 표시됨.
- 엔진 어플리케이션을 구동시킴과 동시에 GUI 어플리케이션을 시작함.



<그림 부록.2.20> GUI 어플리케이션의 실행화면

(2) PrtLevelFrame 클래스

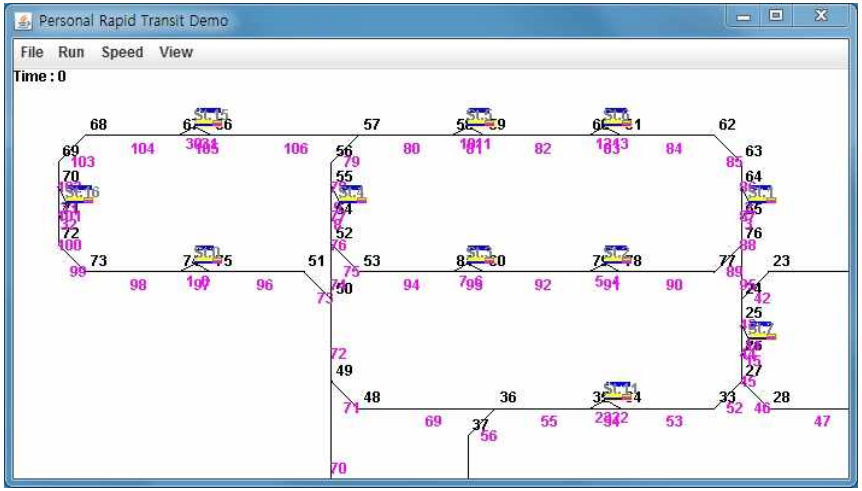
- GUI 어플리케이션 화면의 기본틀을 구성함. 화면 처리를 위해 JFrame 클래스를 상속하여 구현됨.
- PrtLevelFrame 내에 다음과 같은 요소를 담고 있음.

  -PrtMenu

  -FrameInfoPanel

  -PrtLevelView

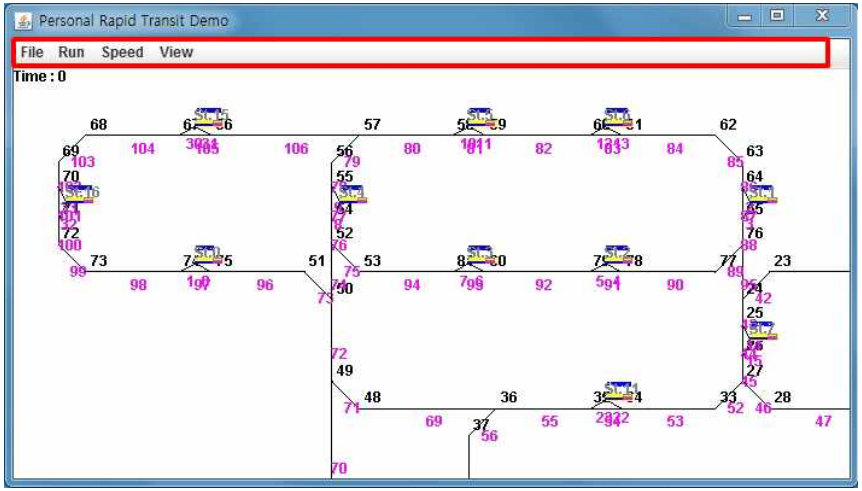
- 메뉴선택 시 이벤트의 처리를 위해 ActionListener 인터페이스를 구현함.



<그림 부록.2.21> PrtLevelFrame

(3) PrtMenu 클래스

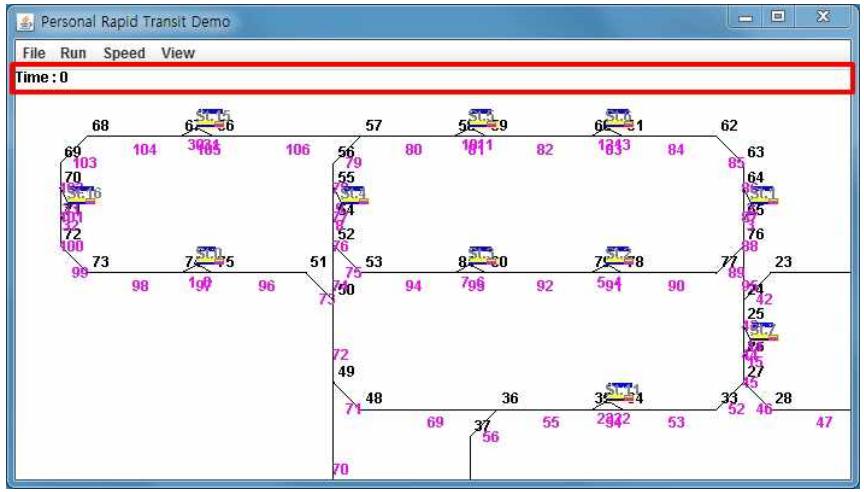
- 화면상의 각 메뉴를 구성하고 관리함.
- 메뉴의 선택 시 실제 처리는 PrtLevelFrame 클래스에서 처리함.



<그림 부록.2.22> PrtMenu (붉은 사각형 안쪽부분)

(4) FrameInfoPanel 클래스

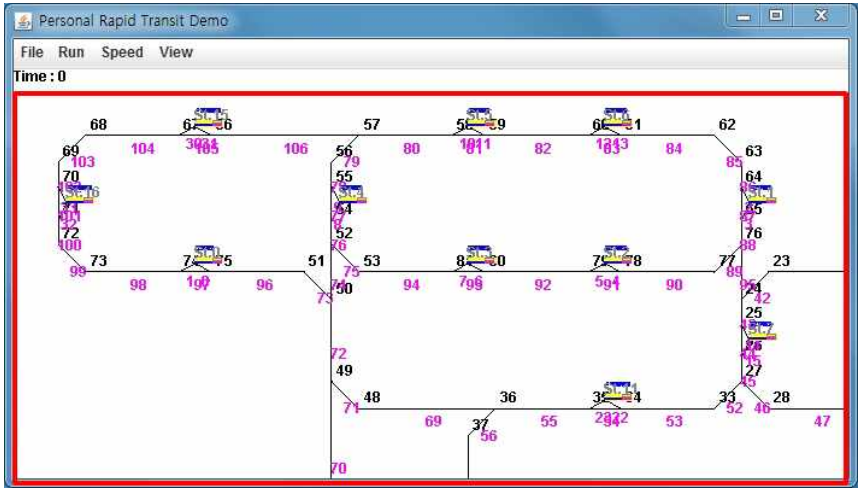
- 내용화면 상단에 정보를 출력하는 부분. 시간정보(Time: 0)를 표시



<그림 부록.2.23> FrameInfoPanel (붉은 사각형 안쪽부분)

(5) PrtLevelView 클래스

- 노드, 트랙, 역의 표시, 차량의 이동 등 대부분의 화면표시가 수행됨.
- Demo 프로그램의 가장 핵심적인 기능을 담당함.



<그림 부록.2.24> PrtLevelView (붉은 사각형 안쪽부분)

(6) Rails 클래스

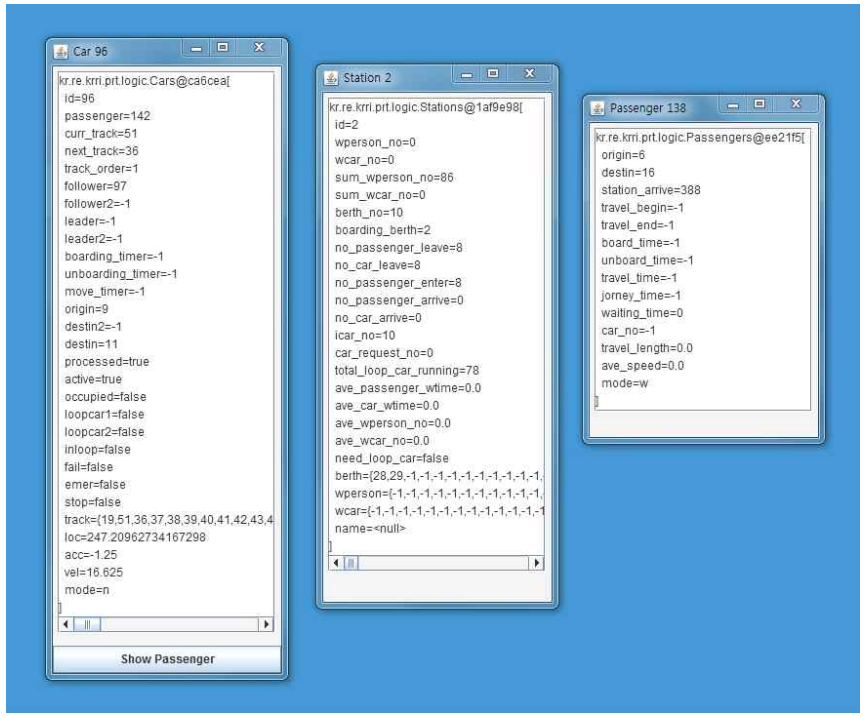
- 한번 읽으면 변화하지 않는 데이터를 PrtLevelView 화면에 표시함.
  - 노드 데이터를 엔진에서 읽고 화면에 표시
  - 역 데이터를 엔진에서 읽고 화면에 표시
  - 트랙 데이터를 엔진에서 읽고 화면에 표시

(7) Frame 클래스

- 실시간으로 변화하는 데이터를 PrtLevelView 화면에 표시한다.
  - 차량 데이터를 실시간으로 엔진에서 읽고 화면에 표시
  - 승객 데이터를 실시간으로 엔진에서 읽고 화면에 표시
  - 역 내의 승강장과 대기승객, 대기차량을 실시간으로 엔진에서 읽고 화면에 표시
  - 객체를 선택할 수 있도록 마우스 클릭을 인식하는 루틴을 포함

(8) ItemInfoFrame 클래스

- 객체의 속성정보를 표시하는 별도의 창.
- 프로그램 시작 시에는 화면에 표시되지 않음.
- 차량, 승객 또는 역을 클릭했을 때 새로운 창이 생성되어, 해당 정보를 표시함.
- 표시되는 정보는 실시간으로 업데이트 됨.



<그림 부록.2.25> 여러 개의 ItemInfoFrame

(9) DatChooserView 클래스

- 입력파일선택용 화면구성 및 처리

(10) StatisticsFrame 클래스

- 통계화면을 관리

(11) PrtEvent 클래스

- 사용자 정의 이벤트를 관리

(12) PrtEvtComponent 클래스

- 사용자 정의 이벤트를 등록, 삭제, 반환, 공지

(13) IniManage 클래스

- "prtdemo.ini" 파일에 입력파일을 기록하고 관리

(14) Track 클래스

- 두 노드를 서로 연결한 것이 트랙
- 시작노드, 끝노드, 길이, 모양 등의 속성을 갖음.

(15) Node 클래스

- 노드의 위치, 모양 등의 속성을 담고 있는 클래스

(16) NormalNode 클래스

- 일반적인 노드를 그리기 위한 클래스

(17) DivergeNode 클래스

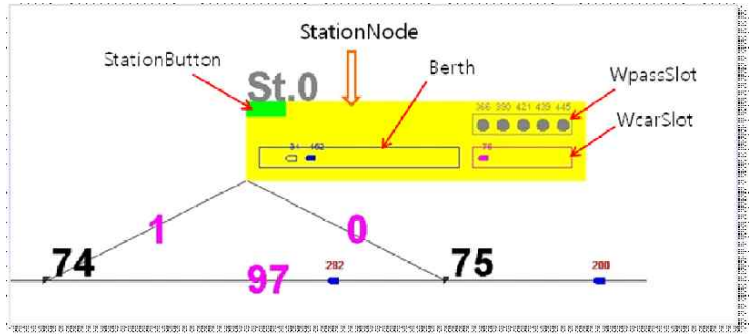
- 노드 중에 Diverge 노드를 그리기 위한 클래스

(18) MergeNode 클래스

- 노드 중에 Merge 노드를 그리기 위한 클래스

(19) StationNode 클래스

- 역 또한 노드의 일종으로 노드 클래스를 상속
- 역 자체는 노드 또는 트랙처럼 시간에 따라 변하지 않는 특징을 갖고 있지만 역 내부에 차량과 승객이 실시간으로 움직이므로 동적인 처리를 하는 부분이 존재함.
- 역 내부에는 다음과 같은 요소가 있음.
  - 역 자체 (StationNode)
  - 정보 창 (ItemInfoFrame)을 띄우기 위해 클릭이 가능한 부분 (StationButton)
  - 승강장 (Berth)
  - 대기차량 (WcarSlot)
  - 대기승객 (WpassSlot)
  - 한 개의 역은 다수의 Berth, 다수의 WcarSlot, 다수의 WpassSlot을 갖는다.
  - 한편 CarBarn은 StationNode로 처리하고 있다.



<그림 부록.2.26> StationNode 및 관련 요소

(20) StationButton 클래스

- 역의 정보를 띄우기 위해 클릭이 가능한 부분
- 역의 왼쪽 위 모서리에 위치

(21) Berth 클래스

- 역내의 승강장을 나타내는 클래스
- 승강장에는 차량이 정차하므로 차량객체를 갖고 있음.
- 한 개의 Berth에는 한 대의 차량이 정차할 수 있음.
- 한 개의 역은 여러 개의 Berth를 갖음.

(22) WcarSlot 클래스

- 역의 대기차량을 나타내는 클래스
- 대기중인 차량객체를 갖고 있음.
- 한 개의 WcarSlot 에는 한 대의 차량이 정차할 수 있음.
- 한 개의 역은 여러 개의 WcarSlot을 갖음.

(23) WpassSlot 클래스

- 역의 대기승객을 나타내는 클래스
- 대기중인 승객객체를 갖고 있음.
- 한 개의 WpassSlot 에는 한 명의 승객이 머무를 수 있음.
- 한 개의 역은 여러 개의 WpassSlot을 갖음.

(24) Car 클래스

- 차량의 속성을 나타내는 클래스
- 화면에 그리는 루틴 포함

(25) Passenger 클래스

- 승객의 속성을 나타내는 클래스

(26) Const 클래스

- 프로그램에서 사용되는 각종 상수를 정의해 놓은 클래스
- 쉽게 조정할 수 있는 주요 상수들은 다음과 같음.
  - REFRESH_TIME : 화면 갱신 시간. 값이 클수록 갱신시간이 빨라짐.
  - SCALE_MIN : 축소/확대 시 사용되는 최소배율. 값이 작을수록 더 작게 축소가 가능함.
  - SCALE_STEP : 축소/확대 시 사용되는 배율의 단위. 값이 작을수록 더 촘촘하게 축소/확대됨.
  - MIN_FONT_SIZE : 축소해도 더 이상 작아지지 않는 문자크기. 노드번호, 트랙번호 표시에 적용됨.
  - STATION_FONT_SIZE : 축소해도 더 이상 작아지지 않는 문자크기. 역번호 표시에 적용됨.

(27) WrongFileException 클래스

- 잘못된 파일을 읽었을 경우 발생시키는 exception 처리

(28) Drawable 인터페이스

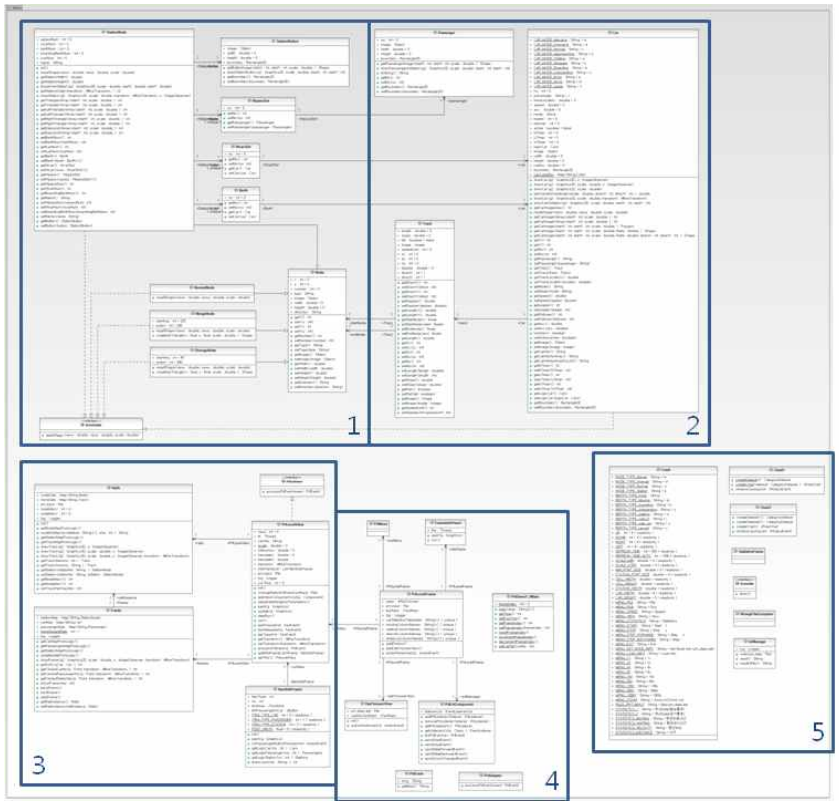
- 객체를 그리는 메소드를 가진 인터페이스

(29) Resettable 인터페이스

- 정보 재설정 가능한 메소드를 가진 인터페이스

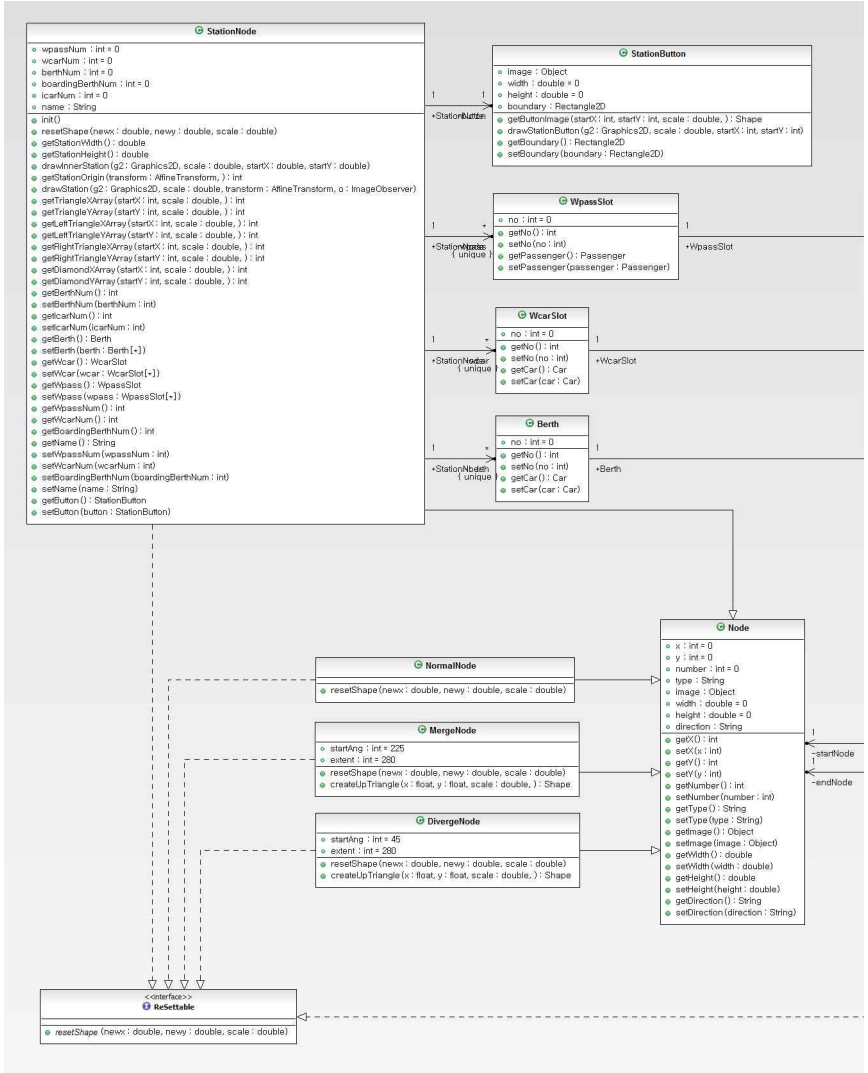
붙임 B. GUI 클래스 다이어그램

(1) 전체 클래스 다이어그램



<그림 부록.2.27> GUI 클래스다이어그램

(2) 클래스 다이어그램 부분 1



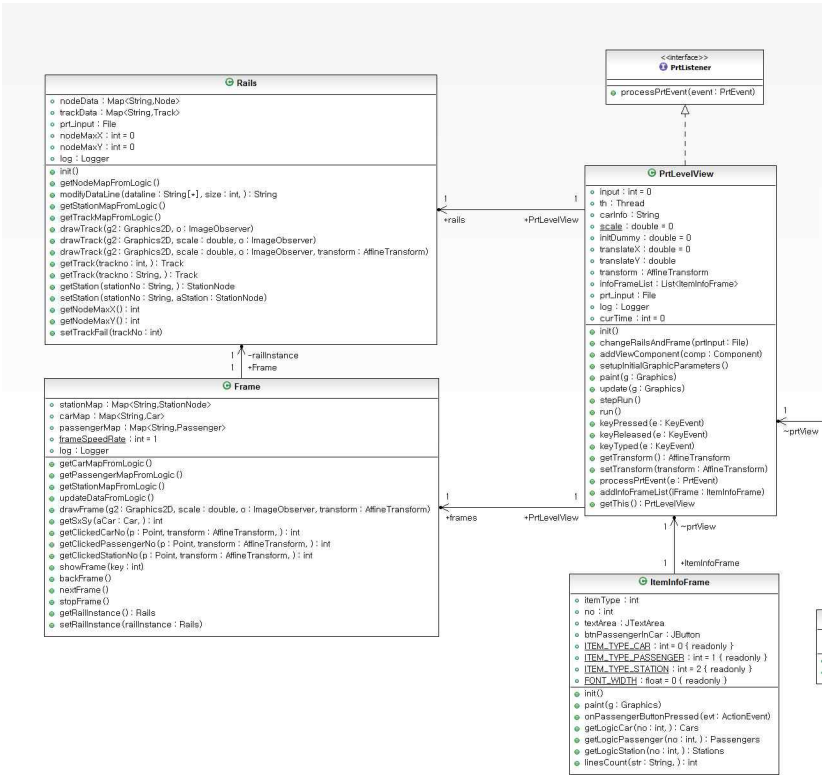
<그림 부록.2.28> GUI 클래스다이어그램 부분1

(3) 클래스 다이어그램 부분 2



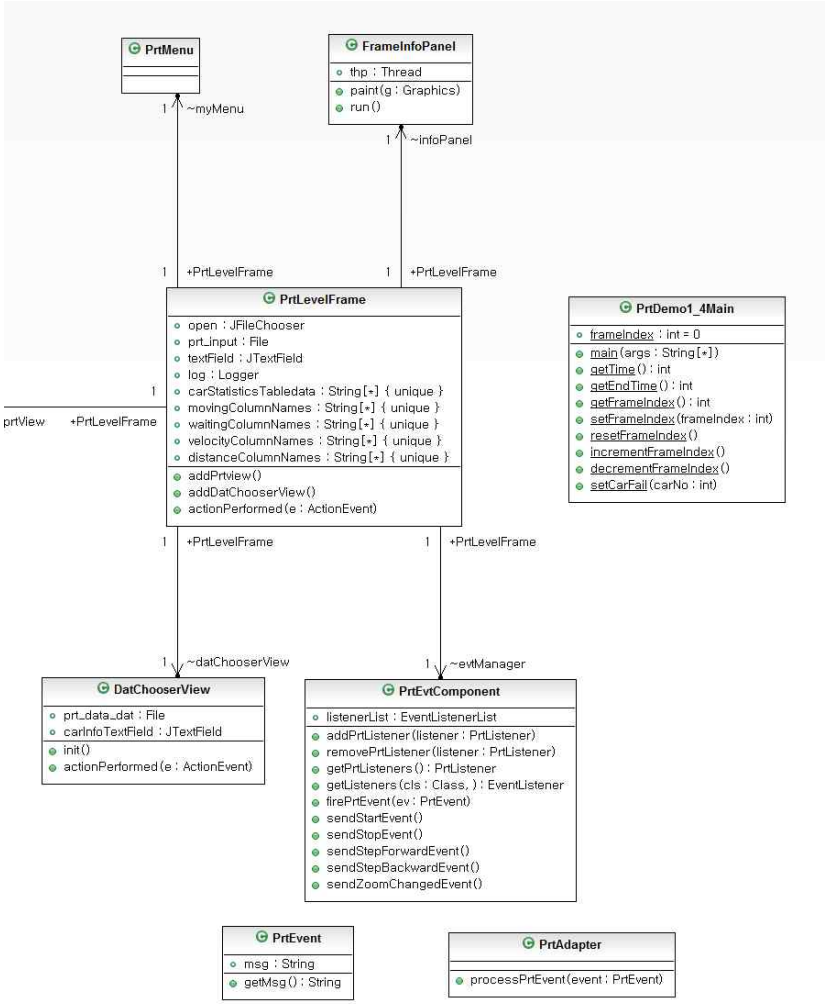
<그림 부록.2.29> GUI 클래스다이어그램 부분2

(4) 클래스 다이어그램 부분 3



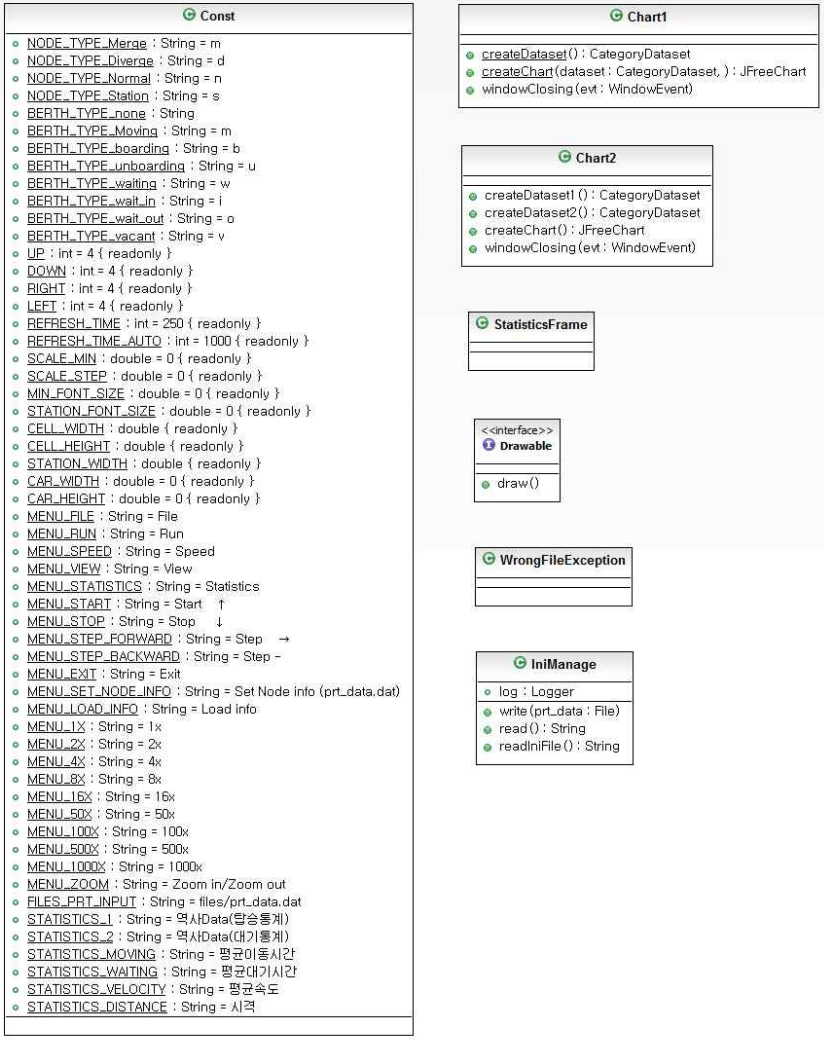
<그림 부록.2.30> GUI 클래스다이어그램 부분3

(5) 클래스 다이어그램 부분 4



<그림 부록.2.31> GUI 클래스다이어그램 부분4

(6) 클래스 다이어그램 부분 5



<그림 부록.2.32> GUI 클래스다이어그램 부분5

붙임 C. JFreeChart Constructors

constructor	description
createAreaChart	Creates an area chart with default settings.
createBarChart	Creates a bar chart.
createBarChart3D	Creates a bar chart with a 3D effect.
createBoxAndWhiskerChart	Creates and returns a default instance of a box and whisker chart.
createBubbleChart	Creates a bubble chart with default settings.
createCandlestickChart	Creates and returns a default instance of a candlesticks chart.
createGanttChart	Creates a Gantt chart using the supplied attributes plus default values where required.
createHighLowChart	Creates and returns a default instance of a high low open close chart.
createHistogram	Creates a histogram chart.
createLineChart	Creates a line chart with default settings.
createLineChart3D	Creates a line chart with default settings.
createMultiplePieChart	Creates a chart that displays multiple pie plots.
createMultiplePieChart3D	Creates a chart that displays multiple pie plots.
createPieChart	Creates a pie chart with default settings.
createPieChart3D	Creates a 3D pie chart using the specified dataset.
createPolarChart	Creates a polar plot for the specified dataset (x values interpreted as angles in degrees).
createRingChart	Creates a ring chart with default settings.
createScatterPlot	Creates a scatter plot with default settings.
createStackedAreaChart	Creates a stacked area chart with default settings.
createStackedBarChart	Creates a stacked bar chart with default settings.
createStackedBarChart3D	Creates a stacked bar chart with a 3D effect and default settings.
createStackedXYAreaChart	Creates a stacked XY area plot.
createTimeSeriesChart	Creates and returns a time series chart.
createWaferMapChart	Creates a wafer map chart.
createWaterfallChart	Creates a waterfall chart.
createWindPlot	Creates a wind plot with default settings.

constructor	description
createXYAreaChart	Creates an area chart using an XYDataset.
createXYBarChart	Creates and returns a default instance of an XY bar chart.
createXYLineChart	Creates a line chart with default settings.
createXYStepAreaChart	Creates a filled stepped XY plot with default settings.
createXYStepChart	Creates a stepped XY plot with default settings.

부록 3 : PRT 주요특허의 대표 청구항

1. 미국 특허(5199524) : Automated Guided Vehicle

출 원 인	Mentor AGVS	국가	US
등록/공개번호	5199524	출원번호	1991.723902
등록/공개일	1993.04.06	출원일	1991.07.01
우 선 권		우선일	
특허분류	B60K.017/358	발명자	Ivancic, Milan E.
명 칭	Automated Guided Vehicle		

기술 요지

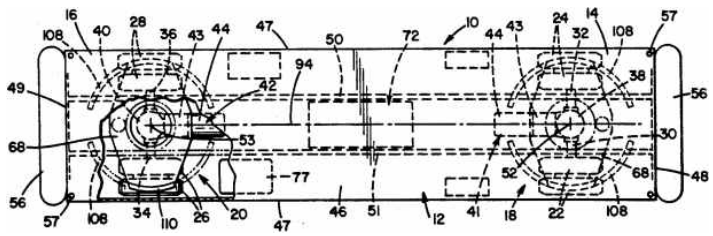
초 록

An automated guided vehicle for carrying and moving heavy loads providing the vehicle with a gross weight of more than about 100 tons includes a vehicle platform or deck for carrying the loads and wheel assemblies at either end of the platform for both steering and driving the vehicle along a predetermined PATH. Each of the wheel assemblies includes a differential gear assembly and a drive arrangement therefor for driving the wheels, and each wheel assembly includes a drive arrangement for rotating the wheel assembly to steer the vehicle. Suspension arrangements are disclosed for supporting the vehicle against the imposition of undesirable forces on the wheel assemblies during loading.

대표 청구항

1. An automated guided vehicle for carrying and moving loads comprising: deck means for supporting loads to be transported by said vehicle and having longitudinally opposite first and second ends; first and second wheel assembly means respectively at said first and second ends of said deck means for steering and driving said vehicle along a predetermined PATH; said first and second wheel assembly means being supported by said deck means for rotation independent of each other about a corresponding vertical axis and each comprising at least two wheels aligned and laterally spaced from each other, each of said two wheels being connected to a corresponding axle; first and second differential gear means respectively connecting the axles of said two wheels of said first and second wheel assembly means; first and second differential drive means for respectively independently driving said first and second differential gear means to rotate the corresponding axles and wheels; and first and second steering means for respectively independently rotating said first and second wheel assembly means about said corresponding vertical axis.

대표 도면



2. 미국 특허(5305217) : Method and system for controlling automatic guided vehicle

출 원 인	FUJI	국가	US
등록/공개번호	5305217	출원번호	1991.723614
등록/공개일	1994.04.19	출원일	1991.07.01
우 선 권	JP 1990-174451	우선일	1990.07.03
특허분류	G06F.015/50 | G08G.001/123	발명자	Nakamura, Katsunari | Kita, Tadae | Asano, Kenzi | Shimizu, Tsunezi | Kawakami, Motozo
명 칭	Method and system for controlling automatic guided vehicle		

기술 요지

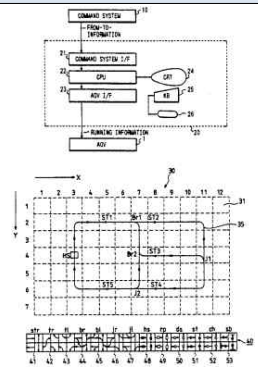
초 록

A method of controlling a guided vehicle to run along a desired running route comprising the steps of: dividing a display screen into a predetermined grid, wherein the display screen corresponds an area over which the running route is desired, and each grid block corresponds to a portion of the area, establishing a plurality of symbol blocks each symbol block representing a running route segment having a predetermined characteristic, the characteristic being visually represented on the display screen and electronically represented by symbol block data, producing a layout diagram corresponding to the running route by entering a selected pattern of symbol blocks into the display screen grid, extracting electronic symbol block data for each selected symbol block entered and storing the electronic symbol block data, and producing map information corresponding to the stored electronic symbol block, such that the guided vehicle is controlled along the running route by the map information.

대표 청구항

1. A method of controlling a guided vehicle to run along a desired running route comprising the steps of: dividing a display screen into a predetermined grid, wherein said display screen corresponds an area occupied by the running route; establishing a plurality of symbol blocks, each symbol block representing a running route segment having a predetermined characteristic, said characteristic being visually represented on said display screen and electronically represented by symbol block data; producing a layout diagram corresponding to the running route by entering a selected pattern of symbol blocks into the display screen grid; extracting electronic symbol block data for each selected symbol block entered and storing the electronic symbol block data; and producing map information corresponding to the stored electronic symbol block data, such that the guided vehicle is controlled along the running route by said map information.

대표 도면



3. 미국 특허(5341130) : Downward compatible AGV system and methods

출 원 인	Eaton.Kenway	국가	US
등록/공개번호	5341130	출원번호	1992.908691
등록/공개일	1994.08.23	출원일	1992.06.26
우 선 권		우선일	
특허분류	G06F.015/50	발명자	Yardley, James V., Whatcott, Gary L., Petersen, John A. M., Bloomfield, Bryan A., Guest, Vaughn W., Mottes, Rick S., Forman, Robert K., Christensen, L. Bruce, Zuercher, Joseph, Schutten, Herman
명 칭	Downward compatible AGV system and methods		

기술 요지

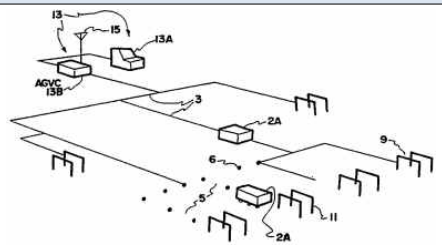
초 록

An automated guided vehicle (AGV) control system which is downward compatible with existing guidewire systems providing both guidewire navigation and communication and autonomous navigation and guidance and wireless communication between a central controller and each vehicle. Vehicle steering and control includes autonomous guidance and navigation of the vehicle over PATHs marked by update markers which may be spaced well apart, such as fifty feet. The control system employs high frequency two.way data transmission and reception capability over the guidewires and via wireless communications. The same data rates and message formats are used in both guidewire and wireless communications systems. Substantially the same communications electronics are used for the central controller and each vehicle. Novel navigation and guidance algorithms are used to select and calculate a non.linear PATH to each next vehicle waypoint when the vehicle is operating in the autonomous mode. The non.linear PATH orginates with an initial direction equal to the heading of the vehicle as it enters the PATH and a waypoint heading defined as part of the message received from the central control system which plans and controls travel of each vehicle in the system.

대표 청구항

1. A downwardly compatible automated guided vehicle system wherein automatic guided vehicles at different times traverse a plurality of types of guidePATHs, said system comprising: at least one guidePATH marked only by a guidewire; at least one other guidePATH marked only by widely dispersed update markers; at least one automated guided vehicle comprising means for navigating and guiding over the guidewire marked guidePATH and for navigating and guiding over the guidePATH marked only by update markers and which at different times traverses said at least one guidePATH marked only by a guidewire and said at least one other guidePATH of marked only by update markers of said plurality of guidePATHs; central means for automatically planning and controlling activity of the at least one automated guided vehicle; means for sending and receiving two.way communications comprising the same type and rate of data presentation, independent of the type of guidePATH traveled by the vehicle, between the central means and the at least one automated guided vehicle.

대표 도면



4. 미국 특허(5404087) : Automated guided vehicle wire guidance apparatus

출 원 인	FMC	국가	US
등록/공개번호	5404087	출원번호	1993.025700
등록/공개일	1995.04.04	출원일	1993.03.03
우 선 권		우선일	
특허분류	G05D.001/00	발명자	Sherman, Leigh E.
명 칭	Automated guided vehicle wire guidance apparatus		

기술 요지

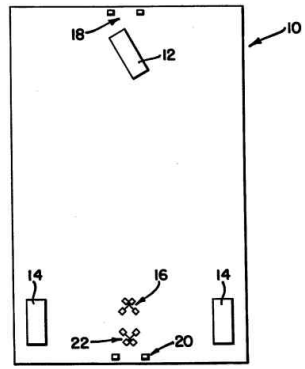
초 록

A wire guidance apparatus for an automated guided vehicle which comprises a first crossed coil sensor for acquiring a wire and tracking along curves in the wire as the vehicle is travelling in the forward direction, a second crossed coil sensor for acquiring the wire and tracking along the wire when the vehicle is travelling in the reverse direction, third and fourth sensors for tracking along straight runs in the wire and circuitry for switching between the crossed coil sensors and the third and fourth sensors. Circuitry is also provided to generate a guidance error signal from the outputs of either of the crossed coil sensors or both the third and fourth sensors. The guidance error signal is then used to control a motor connected to a steerable wheel of the vehicle to maintain the vehicle in ALIGNment with the wire.

대표 청구항

1. In an automated guided vehicle comprising a wire guidance apparatus for guiding the vehicle along a wire embedded in a floor, the wire being operable to generate a magnetic field and the vehicle comprising at least one steerable wheel and means responsive to a guidance error signal for turning the wheel, the improvement comprising: a first sensor means for tracking along the wire when the vehicle is traveling in the forward direction: the first sensor means comprising two overlapping pairs of coils, each pair being oriented at an angle to the other and operable to generate an output signal in response to the magnetic field; means for combining and processing the output signals to produce a steering correction error signal indicative of the angle and the lateral displacement of the sensor means from the wire; and means for generating the guidance error signal from the steering correction error signal.

대표 도면



5. 미국 특허(5450320) : Automated guided vehicle movable in all directions

출 원 인	Shinko Electric	국가	US
등록/공개번호	5450320	출원번호	1993.142087
등록/공개일	1995.09.12	출원일	1993.10.28
우 선 권	JP 1992-290145	우선일	1992.10.28
특허분류	G06F.165/00 | B60K.007/00	발명자	Tsubaki, Tatsuo | Kumehashi, Tatsuya
명 칭	Automated guided vehicle movable in all directions		

기술 요지

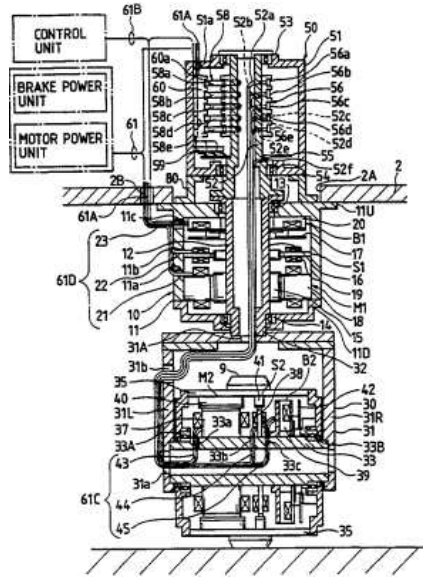
초 록

An object of this invention is to provide an automated guided vehicle movable in all directions in which the cables will never be broken due to twisting, and it is unnecessary to perform a rest swing operation. The automated guided vehicle is movable in all directions and includes vehicle wheels and drive wheel mechanisms with drive mechanisms for driving the vehicle wheels, each of the drive wheel mechanisms being controlled by a steering mechanism so that the direction of movement of the automated guided vehicle is controlled with the vehicle body maintained unchanged in heading. Transmission of electric power between an electric power source unit on a vehicle body and the drive mechanism and/or steering mechanism, and transmission of signals between a control unit on the vehicle body and the drive mechanism and/or steering mechanism are carried out through a signal/power transmitting and receiving device which includes: a stationary electrode section provided on a member which is stationary with respect to the vehicle body and a rotary electrode section provided on a steering shaft of the steering mechanism in such a manner that the rotary electrode section is rotatable with respect to the stationary electrode section.

대표 청구항

1. An automated guided vehicle having a plurality of wheels movable in all directions, comprising: wheel drive means including a drive mechanism on each of said plurality of wheels for enabling the respective vehicle wheels to move said automated guided vehicle; a steering means for each wheel for controlling a direction of the respective wheel to control a direction of movement of the automated guided vehicle without changing a heading of the automated guided vehicle; and signal/power transmitting and receiving means for transmitting an electric power between an electric power source unit provided on a body of the automated guided vehicle and the respective wheel drive mechanisms and steering means and for transmitting control signals between a control unit provided on the body of the automated guided vehicle and the respective drive mechanisms and steering means, through a stationary electrode member provided on a member which is stationary with respect to the body of the automated guided vehicle and a rotary electrode member provided on a member which is rotatable with respect to the stationary electrode member, the stationary electrode member and the rotary electrode member being included into the signal/power transmitting and receiving means, wherein each said steering means includes means for rotating a respective said drive wheel and drive mechanism in one direction about an axis through an angle of 360° and said means for rotating the respective said drive wheel and drive mechanism includes a steering motor, wherein the steering means further includes: a steering shaft and a rotor on the steering shaft, the rotor being coupled with a respective drive mechanism, the rotor being positioned outside the steering shaft and movable in response to energization of a stator in response to said control signals to turn the drive mechanism and drive wheel around an axis of the steering shaft, and wherein the rotary electrode member is a slip ring provided on the steering shaft and the stationary electrode member is a brush mounted in elastic slide contact with the slip ring.

대표 도면



6. 미국 특허(5764014) : Automated guided vehicle having ground track sensor

출 원 인	Mannesmann Dematic Rapistan	국가	US
등록/공개번호	5764014	출원번호	1996.595353
등록/공개일	1998.06.09	출원일	1996.02.01
우 선 권		우선일	
특허분류	G05D.001/02	발명자	Jakeway, Jerome J. | Mickley, Joseph G. | Zeitler, David W. | Medley, James A.
명 칭	Automated guided vehicle having ground track sensor		

기술 요지

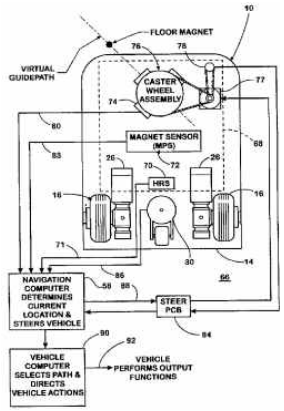
초 록

An automated guided vehicle includes a body, at least one driver wheel for propelling the body along a surface, at least one steered wheel for directing the body with respect to the surface and a body.based inertial navigation system. The inertial navigation system senses actual movement of the body in at least three degrees of freedom. Such sensing is accomplished notwithstanding the presence of side slippage of the vehicle. This can be embodied in an automated guided vehicle having a ground track sensor which continuously senses relative movement of the vehicle with respect to the surface being traversed in order to determine an actual velocity vector of the vehicle. The ground track sensor may physically contact the surface in order to sense the relative movement or may be a non.contact sensor. The disclosed navigation system is especially useful with tugger automated guided vehicles.

대표 청구항

1. An automated guided vehicle navigation and steering control system, comprising: a primary navigation system which senses a heading or a rate.of.change of heading of an automated guided vehicle; a ground track sensor which continuously senses relative movement of the automated guided vehicle with respect to a surface being traversed by the vehicle in order to determine an actual velocity vector of the vehicle; and a navigation and control computer which is responsive to said primary navigation system and said ground track sensor for determining an actuated path of movement of the automated guided vehicle and for comparing said actual paths of movement with an intended path of movement in order to control movement of the vehicle.

대표 도면



7. 미국 특허(5925080) : Automatic guided vehicle control system

출 원 인	Mazda Motor	국가	US
등록/공개번호	5925080	출원번호	1997.834824
등록/공개일	1999.07.20	출원일	1997.03.31
우 선 권	JP 1996-134486 JP 1996-134487	우선일	1996.03.29 1996.03.29
특허분류	G06G.007/76 | B64C.013/18	발명자	Shimbara, Yoshimi | Teramoto, Koji | Moriyama, Koichi | Morimoto, Hiroyuki
명 칭	Automatic guided vehicle control system		

기술 요지

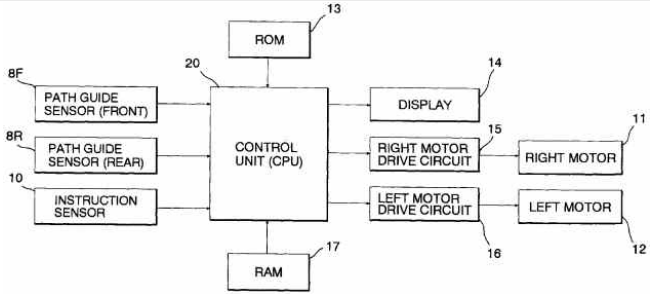
초 록

A automatic guided vehicle travels on a prearranged travel path established by a path guide and detects lateral deviation of the vehicle from a path guide to control the direction of travel of the vehicle by steering the vehicle according to a prescribed relationship between steering angle and lateral deviation which is installed in the form of ruling maps in the vehicle.

대표 청구항

1. A vehicle control system for controlling a motor driven vehicle having right and left drive wheels arranged transversely side by side which is guided by path guide means to travel on a prearranged path established by said path guide means, said vehicle control system comprising: steering means installed on said motor driven vehicle for steering said motor driven vehicle with a controlled steering variable to change a travel direction of said motor drive vehicle, said steering means comprising a steering disk supported for rotation by said motor driven vehicle and wheel drive means installed on said steering disk for independently driving said right and left drive wheels; guide monitoring means installed on said motor driven vehicle for monitoring a lateral deviation of said motor driven vehicle from said path guide means; and control means for controlling said wheel drive means by a prescribed relationship between said controlled steering variable and said lateral deviation to drive said drive wheels at different travel speeds according to said controlled steering variable such that a speed difference between said different travel speed for a specific lateral deviation becomes smaller than an increase in said travel speed of said motor driven vehicle so as thereby to control said motor driven vehicle in travel direction.

대표 도면



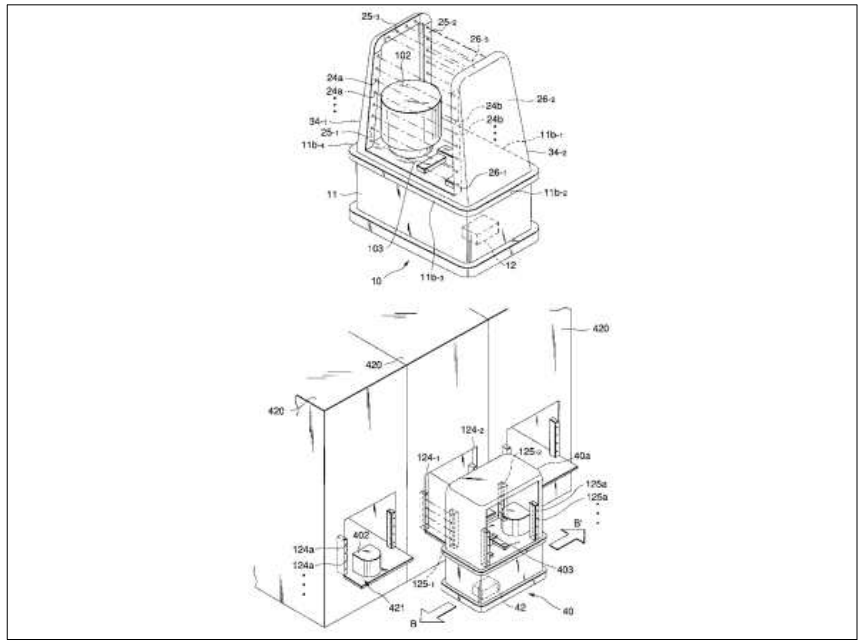
8. 미국 특허(6019563) : Automated guided vehicle

출 원 인	Shinko Electric	국가	US
등록/공개번호	6019563	출원번호	1998.059361
등록/공개일	2000.02.01	출원일	1998.04.14
우 선 권	JP 1997-096153 JP 1997-182872	우선일	1997.04.14 1997.07.08
특허분류	B25J.019/00	발명자	Murata, Masanao | Tsubaki, Tatsuo | Kawano, Hitoshi
명 칭	Automated guided vehicle		

기술 요지

초 록	대표 청구항
An automated guided vehicle includes a transporting portion having an upper surface and a driving device, the transporting portion being movable by the driving device; a transferring device provided on the upper surface of the transporting portion, the transferring device being capable of transferring a workpiece to or from an apparatus; and a mounting portion formed on the upper surface of the transporting portion, the mounting portion having at least two opening portions which allow an operation for transferring the workpiece. In the automated guided vehicle, photosensors are respectively arranged on the opening portions to detect an object which intrudes into a predetermined area or projects from the predetermined area, and a control device monitors a state of the photosensors and controls the transferring device or the driving device in accordance with the state of the photosensors.	1. An automated guided vehicle, comprising: a transporting portion having an upper surface and a driving device, the transporting portion being movable by the driving device; a transferring device provided on the upper surface of the transporting portion, the transferring device being capable of transferring a workpiece to or from an apparatus; a mounting portion formed on the upper surface of the transporting portion, the mounting portion having at least two opening portions which allow an operation for transferring the workpiece; at least one photosensor respectively arranged on each of the opening portions to detect an object which intrudes from outside of the mounting portion into the mounting portion or projects from the mounting portion to the outside, each of the photosensors including a light emitting device emitting a beam and a light receiving device receiving the beam, the light emitting device and the light receiving device being respectively disposed on opposite end portions of each of the opening portions so as to oppose each other; and a control device which monitors a state of the photosensors and controls one of the transferring device and the driving device in accordance with the state of the photosensors; wherein when a beam emitted by the light emitting device of one of the opening portions and being incident upon the corresponding light receiving device is obstructed, the control device judges intrusion or projection of an object such that the control device controls the transferring device into a non.operative state when one of the photosensors, which is arranged on one of the opening portions other than the opening portion through which the transferring operation is performed, has detected intrusion or projection of an object via the obstruction of the beam.

대표 도면



9. 미국 특허(6049745) : Navigation system for automatic guided vehicle

출 원 인	FMC	국가	US
등록/공개번호	6049745	출원번호	1997.795267
등록/공개일	2000.04.11	출원일	1997.02.10
우 선 권		우선일	
특허분류	G06F.165/00	발명자	Douglas, Barry D. | Bencel, Joseph A.
명 칭	Navigation system for automatic guided vehicle		

기술 요지

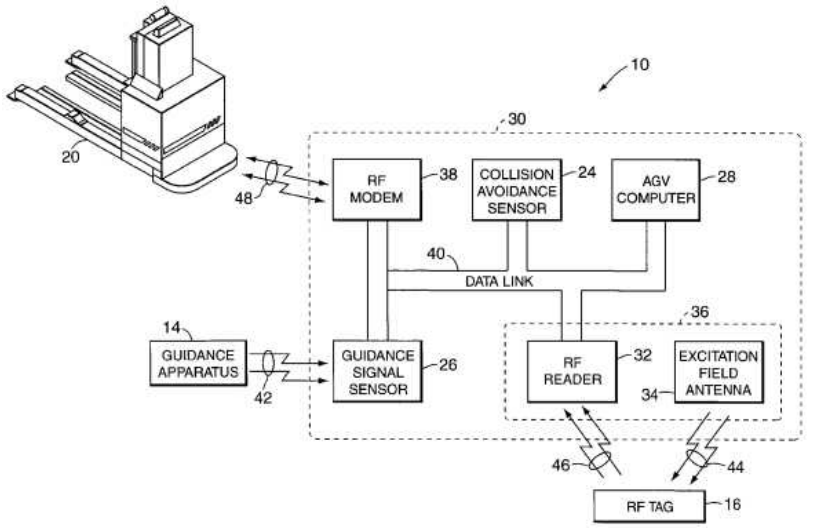
초 록

A method and system for navigating automatic guided vehicles (AGVs) through a workplace having intelligible areas provides multi.vehicle traffic control. A guidance apparatus CONVEYs a plurality of guidance signals, and a plurality of radio frequency tags (RF tags) are provided along the PATH over which the vehicle travels. Each RF tag is capable of CONVEYing at least one of a plurality of unique radio frequency signals in response to electromagnetic excitation fields. A controller mounts on the vehicles, and includes an AGV computer, a sensor, a radio frequency identification (RFID) reader, and an RF modem for broadcasting messages to other vehicles to facilitate multi.vehicle traffic control. RF tags positioned for identifying characteristic area conditions related to the PATH of the vehicle reduce the need for custom modifications to guidance software on the host or AGV computers when operating in new environments, e.g., a new factory floor layout. The controller is responsive to at least one of the plurality of guidance signals received by the sensor and at least one characteristic area condition identified by the RF tag reader coupled to the AGV computer for initiating a predetermined action for navigating the vehicle through the area.

대표 청구항

1. A system for navigating an automatic guided vehicle through a congested area, comprising: a guidance apparatus for conveying a plurality of guidance signals for guiding the vehicle, said guidance apparatus being positionable relative to the area along a PATH over which the vehicle travels; a plurality of routing tags, each of said routing tags conveying at least one of a plurality of unique states sufficient in number to provide information for identifying a characteristic area condition related to the PATH of the vehicle; a controller for mounting on the vehicle for controlling the operation of the vehicle, said controller comprising an information processor, and a communications transceiver coupled to said information processor for broadcasting a message to other vehicles in the area, said information processor broadcasting said message upon approaching an intersection, and no longer broadcasting said message after leaving the intersection; said routing tags being positioned along the PATH over which the vehicle travels, said controller being responsive to at least one of the plurality of guidance signals and at least one characteristic area condition for navigating the vehicle through the area.

대표 도면



10. 미국 특허(6246930) : Automatic guided vehicle system and method for navigating automatic guided vehicle

출 원 인	Murata Kikai	국가	US
등록/공개번호	6246930	출원번호	1999.290422
등록/공개일	2001.06.12	출원일	1999.04.13
우 선 권	JP 1998-236573	우선일	1998.08.06
특허분류	G06F.007/00 | G06F.019/00	발명자	Hori, Kikuo
명 칭	Automatic guided vehicle system and method for navigating automatic guided vehicle		

기술 요지

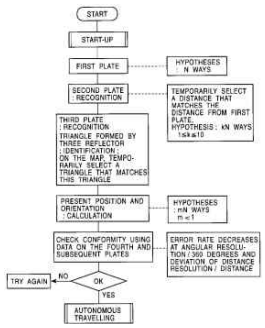
초 록

A plurality of reflectors are disposed along a travelling PATH, an automatic guided vehicle is started up at a position where a laser scanner can recognize four or more reflectors, and data on the angles and distances of the reflectors is obtained. When the first reflector is recognized, there are N possible hypotheses that would specify the reflectors. When a second reflector is recognized, the distance to the first reflector is rational, therefore, there are kN possible hypotheses (k is 10 or less). When a third reflector is recognized, the triangle formed by the three reflectors cioncides with that on a reflector map, therefore, there are mN possible hypotheses (m<1). Then, the present position is estimated according to mN possible hypotheses. The fourth reflector is recognized and the conformity is checked, the present position of the automatic guided vehicle is specified. Its error rate is about equal to the standard deviation obtained from angular resolution/360 degrees x distance resolution/distance between the reflectors. To enable an automatic guided vehicle to be started up without initial position data.

대표 청구항

1. A method for navigating an automatic guided vehicle comprising; disposing a plurality of reflectors along a travelling PATH; recognizing an orientation and a distance of at least three reflectors; temporarily determining said reflectors by comparing the recognized distance with a reflector map storing positions of the reflectors along the travelling PATH; obtaining a present position of the automatic guided vehicle on the basis of the temporarily specified reflector; and obtaining the present position by confirming the temporarily obtained present position from the recognition values of the fourth and subsequent reflectors.

대표 도면



11. 미국 특허(6345217) : Automated guided vehicle (AGV) with bipolar magnet sensing

출 원 인	Rapistan Systems Advertising	국가	US
등록/공개번호	6345217	출원번호	2000.539687
등록/공개일	2002.02.05	출원일	2000.03.31
우 선 권		우선일	
특허분류	G05D.001/00	발명자	Zeitler, David W. | Black, Andrew R. | Ko, Clyde Miin.Arng
명 칭	Automated guided vehicle (AGV) with bipolar magnet sensing		

기술 요지

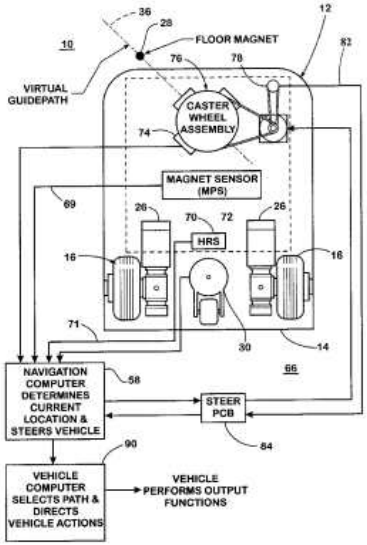
초 록

An automated guided vehicle system and method includes providing at least one automated.guided vehicle (AGV) and a PATHway for the AGV. A sensor assembly on the AGV senses magnet assemblies on the PATHway as the AGV is transported over that magnet assembly. A navigation and guidance system determines the location of the maximum magnitude of the magnetic field by mathematically fitting a curve to the magnitude of portions of the magnetic field sensed by said magnetic sensors and determines a maximum value of the curve. At least some of the said magnet assemblies each produce a bipolar magnetic field extending generally transverse to the PATHway and the sensor assembly produces an output indicative of magnitude and polarity of respective portions of the bipolar magnetic field. The navigation and guidance system determines a location of maximum magnitude of the opposite polarities of the bipolar magnetic field and a correction factor. The correction factor corrects for offset of the maximum magnitudes of the field from a predetermined location on that magnet assembly including correcting for any skew of the bipolar magnetic field with respect to said PATHway.

대표 청구항

1. An automated.guided vehicle system, comprising: at least one automated.guided vehicle including a body, a plurality of wheels for transporting said body across a surface, a navigation and guidance system and a sensor assembly; a PATHway for said at least one automated.guided vehicle defined by a surface and including a plurality of magnet assemblies positioned along said surface and generating magnetic fields; said sensor assembly made up of a plurality of magnetic sensors arranged generally transverse to said PATHway, said sensor assembly positioned at said body for sensing the magnetic field of each said magnet assembly as said body is transported over that magnet assembly by said wheels, said sensor assembly producing an output indicative of intensity of respective portions of the magnetic field sensed by said magnetic sensors; said navigation and guidance system receiving said output from said sensor assembly and determining from said output a location of the substantially maximum magnitude of the magnetic field sensed by said sensor assembly at each said magnet assembly, wherein said navigation and guidance system determines a position of said body with respect to a magnet assembly as said sensor assembly passes over that magnet assembly from the substantially maximum magnitude of the magnetic field; and wherein said navigation and guidance system determines the location of the substantially maximum magnitude of the magnetic field by mathematically fitting a curve to the intensity of portions of the magnetic field sensed by said magnetic sensors and evaluating at least one feature of the fitted curve.

대표 도면	



12. 미국 특허(6543591) : Automated guided vehicle system

출 원 인	Murata Kikai	국가	
등록/공개번호	6543591	출원번호	2002.032549
등록/공개일	2003.04.08	출원일	2002.01.02
우 선 권	JP 2001-031526	우선일	2001.02.07
특허분류	B61L.003/00	발명자	Kuzuya, Motohiko
명 칭	Automated guided vehicle system		

기술 요지

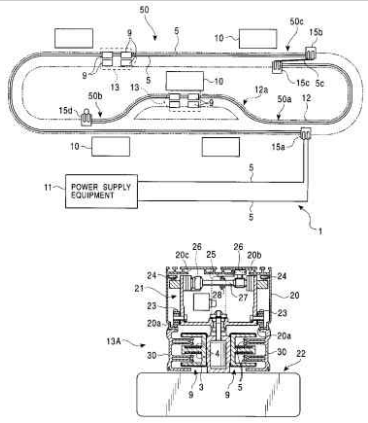
초 록

An automated guided vehicle system can make a CONVEYor vehicle 13 traveled from a feeder line 5 disposed along a track 12 by supplying the power in a physically non.contact state, wherein the feeder lines are disposed in the both sides of a part of the track, at least one pair of the pick.up units 9, 9 is disposed so as to supply the power from any one of the feeder lines laid in both sides of the track in the CONVEYor vehicle, and the power is supplied from the pick.up unit whose the power to supply is bigger to the load 19 in the place that the feeder lines are disposed in the both sides of the track. According to the above system, the power can be supplied continuously even in the diverging part, etc.

대표 청구항

1. An automated guided vehicle system, comprising: a conveyor vehicle having a plurality of power pickup units; a track along which the conveyor vehicle is held and travels; a power supply; and a feeder line of a plurality of feeder lines connected to the power supply disposed on both sides of a part of the track and disposed on only one of the remainder of the track, wherein at least one pick.up unit of the plurality of power pickup units is disposed so as to supply the power to the conveyor vehicle in a physically non.contact state from any one of the feeder lines laid on both sides of the track, and only in said part of the track where said feeder line of the plurality of feeder lines is on both sides of the track, the power is supplied from the pick.up unit in the side, whose power is larger than a load in the part of that feeder line disposed in the both sides of the track.

대표 도면



13. 미국 특허(6545449) : Method for controlling charge to secondary battery for automated guided vehicle

출 원 인	Matsushita Electric	국가	US
등록/공개번호	6545449	출원번호	2002.119620
등록/공개일	2003.04.08	출원일	2002.04.09
우 선 권	JP 2001-111634	우선일	2001.04.10
특허분류	H02J.007/00	발명자	Ueda, Toshifumi | Morishita, Nobuyasu
명 칭	Method for controlling charge to secondary battery for automated guided vehicle		

기술 요지

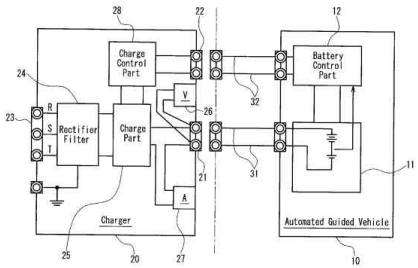
초 록

A method for controlling charge preventing an operation of a valve during charging and suppressing the false detection of the upper limit charging voltage due to the memory effect at the charge side in a secondary battery mounted on an automated guided vehicle is presented. The method includes charging the secondary battery at a charging current value of not less than 0.5 C and not more than 4.0 C; detecting current that flows in the secondary battery and calculating the remaining capacity by accumulating at least the detected current; and completing the charge to the secondary battery when the calculated remaining capacity is not less than the threshold value that is pre.set to not less than 60% and not more than 95%.

대표 청구항

1. A method for controlling charge to a secondary battery for an automated guided vehicle, the method controlling a charge amount of the secondary battery mounted on the automated guided vehicle and used as a power source of an electric motor for running, the method comprising: charging the secondary battery at a charging current value of not less than 0.5 C and not more than 4.0 C; detecting current that flows in the secondary battery and calculating the remaining capacity by accumulating at least the detected current; completing the charge to the secondary battery when the calculated remaining capacity is not less than a threshold value, which is pre.set to not less than 60%, and not more than 95%; detecting a temperature of the secondary battery; detecting an output voltage of the secondary battery; calculating a voltage gradient of the detected output voltage with respect to the time; and completing the charge to the secondary battery when, excluding the time right after the charge is started, the calculated voltage gradient is not less than a first threshold value corresponding to the detected temperature and the detected output voltage is not less than a second threshold value corresponding to the detected temperature.

대표 도면



14. 한국 특허(10-2010-0073279) : 소형 전동차의 전원공급 방법(Power supply method for small sized electric train)

출 원 인	한국철도기술연구원	국가	KR
등록/공개번호	10-2010-0073279	출원번호	10-2008-0131909
등록/공개일	2010.07.01	출원일	2008.12.23
우 선 권		비고	거절
특허분류	B60L 5/39	발명자	정락교, 김백현, 정상기, 김용규
명 칭	소형 전동차의 전원공급 방법(Power supply method for small sized electric train)		

기술 요지

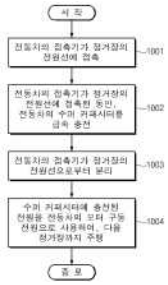
초 록

본 발명은 소형 전동차의 전원공급 방법에 관한 것으로서, 본 발명에 따른 소형 전동차의 전원공급 방법은 전동차가 정거장에 도착할 때, 전동차의 하부 측면에 설치된 접촉기가 정거장의 승강장 하부에 설치된 전원선에 접촉하는 단계; 상기 접촉기가 상기 전원선에 접촉된 동안, 상기 전동차 내부의 모터 구동 회로에 포함된 수퍼 커패시터를 급속 충전시키는 단계; 상기 전동차가 정거장을 떠날 때, 상기 접촉기가 상기 전원선으로부터 분리되는 단계; 및 상기 수퍼 커패시터에 충전된 전원을 상기 전동차의 모터 구동 전원으로 사용하여, 상기 전동차를 다음 정거장까지 주행시키는 단계를 포함한다. 본 발명에 따르면, 전력 공급을 위한 구조물들(카테너리, 제3궤조 등)이 선로변에 설치될 필요가 없다. 따라서, 구조물의 설치에 따른 설치비용 및 유지 보수 비용이 감소될 수 있다. 또한, 선로변의 구조물의 제거로 인하여 승객의 안전이 확보될 수 있고, 미관상의 장점이 있다. 전동차, 수퍼 커패시터, 접촉기

대표 청구항

[청구항 1]전동차가 정거장에 도착할 때, 전동차의 하부 측면에 설치된 접촉기가 정거장의 승강장 하부에 설치된 전원선에 접촉하는 단계; 상기 접촉기가 상기 전원선에 접촉된 동안, 상기 전동차 내부의 모터 구동 회로에 포함된 수퍼 커패시터를 급속 충전시키는 단계; 상기 전동차가 정거장을 떠날 때, 상기 접촉기가 상기 전원선으로부터 분리되는 단계; 및 상기 수퍼 커패시터에 충전된 전원을 상기 전동차의 모터 구동 전원으로 사용하여, 상기 전동차를 다음 정거장까지 주행시키는 단계를 포함하는 소형 전동차의 전원공급 방법.

대표 도면



15. 일본 특허(4536131) : Insulating Power Feeding Device for Moving Body

출 원 인	KAWASAKI PLANT SYSTEMS	국가	JP
등록/공개번호	4536131	출원번호	2008.135420
등록/공개일	2010.06.25	출원일	2008.05.23
우 선 권		우선일	
특허분류	H02J.017/00 | H02J.007/00 | B60L.005/00 | H01M.010/46	발명자	羽畑 修徳田 則昭岡 重幸野呂 治阿部 一広中川 英彦
명 칭	Insulating Power Feeding Device for Moving Body		

기술 요지

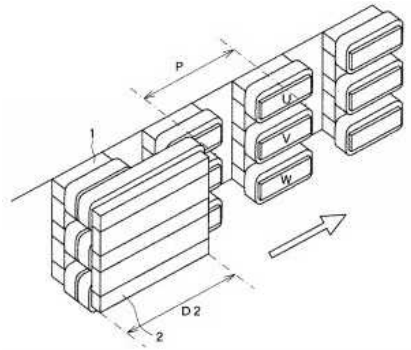
초 록

【과제】 이동체가 이동중에 이동체에 급전하는 것이 가능한,소형 경량한 비접촉 급전 장치를 제공한다.특별히,배터리를 동력이라고 하는 자주 요 대차의 배터리 충전을 전기적으로 절연 상태를 지킨 대로 행하는 비접촉 급전 장치를 제공한다.【해결 수단】 전·유도를 이용하고 지상의 1차측 코일 1으로부터 이것에게 대향하는 2차측 코일 2를 이용하고 이동체 20의 배터리 41을 충전하는 급전 장치이고,1차측 코일 1은 E 자형 단면을 갖는 3돌 극형태·성체의 자극에 3 상 코일을 감는 것으로 3 상의 자극을 이동체의 이동 궤적에 대하여 수직의 방향에 배치한 것을 각상 마다 이동 궤적에 따라 적절한 간격을 비우고 같은 피치로 복수개 배치한다. 또한,이동체 20에 탑재되는 2차측 코일 2도 1차측과 동일한 3돌 극형·성체의 자극에 3 상 코일을 감는 것으로 자극의 이동체 이동 방향의 길이가 1차측 코일 1의 자극의 이동 방향 피치와 같아지고 있다.

대표 청구항

"【청구항 1】
전·유도를 이용하고 지상의 1차측 코일으로부터 그 1차측 코일에 대향하는 2차측 코일을 이용하고 이동체의 배터리를 충전하는 급전 장치이고,상기 1차측 코일은 E 자형 단면을 갖는 3돌 극형태·성체의 자극에 3 상 코일을 감는 것으로 그 3돌 극의 자극을 상기 이동체의 이동 궤적에 수직에 배치한 것을 각상마다 상기 이동 궤적에 따라 같은 피치인 동시에 적절한 간격으로 복수개 배치하고,상기 이동체에 탑재되는 상기 2차측 코일은 1차측 코일과 동일한 3돌 극형태·성체의 자극에 3 상 코일을 감고 그·극의 이동체 이동 방향의 길이는 상기 1차측 코일의 자극의 이동 방향 피치와 같고,상기 1차측 코일은 스위치를 이용하고 삼상 교류 전원에 접속되고,그 1차측 코일의 자극과 상기 2차측 코일의 자극의 중복 상태를 검출하는 중나름 센서를 가지고,그중 나름 센서가 양 자극의 겹친 것을 검출하는 것과 상기 스위치를 투입하고 상기 1차측 코일에 통전시키고,양 자극이 떨어지고 있는 것을 검출하는 것과 상기 스위치를 활짝 열어 놓고 상기 1차측 코일의 전원과의 접속을 차단하는 비접촉 급전 장치.

대표 도면



16. 일본 특허(2010-187471) : Non Contact Power Receiving Apparatus

출 원 인	TAIHEI SEISAKUSHO	국가	JP
등록/공개번호	2010-187471	출원번호	2009-029665
등록/공개일	2010.08.26	출원일	2009.02.12
우 선 권		우선일	
특허분류	H02J.007/00 | H02J.017/00 | H01M.010/46 | H01M.010/44 | B60L.005/00 | B60L.011/18 | B60M.007/00 | H02J.007/02	발명자	TSUTSUMINO TENSU | YANAGA SANSHIRO
명 칭	Non Contact Power Receiving Apparatus		

기술 요지

초 록

【과제】전력을 축적하는 수단으로서 배터리와 캐패시터를 가지고,삶 단시간 급전과 대용량 축전을 양립시킨 비접촉 수전 장치를 제공한다.【해결 수단】캐패시터 213과 배터리 216과의 사이에 전압 변환 회로 214를 설치하고,전압 변환 회로 214에 의하여 캐패시터 213의 단자간 전압을 배터리 216의 충전 전압에 변환한다.캐패시터 213과 배터리 216을 회로상에서 분리하는 것에 의해,캐패시터 213에 축적되는 전기량을,배터리 216의 전압에 영향을 받는 일없이 꺼낼 수 있고,결과로서,캐패시터 213에 축적되는 전력의 대부분을 꺼내고 배터리 216에 충전할 수 있다

대표 청구항

【청구항 1】
비접촉 급전 장치의 일차 코일과 전·결합하는 2차 코일을 가지고,상기 일차 코일으로부터 급전되는 전력을 상기 2차 코일에 의하여 수전하는 비접촉 수전 장치이고,
상기 2차 코일으로 수전한 교류 전력을 직류 전력에 변환하는 교류/직류 변환 회로와,
상기 교류/직류 변환 회로의 출력인 직류 전력을 축적하는 캐패시터와,
상기 캐패시터로 축적되는 직류 전력이 충전되는 배터리와,
상기 캐패시터의 단자간 전압을 상기 배터리의 충전 전압에 변환하는 전압 변환 회로와,
상기 배터리의 충전 제어를 행하는 충전 제어회로와,을 구비한 것을 특징으로 하는 비접촉 수전 장치.
"

대표 도면

